

BahnPraxisE

Zeitschrift für Elektrofachkräfte zur Förderung der Betriebssicherheit und der Arbeitssicherheit bei der DB AG



2/2004

- Zulässige Oberstromgrenzwerte im elektrifizierten Streckennetz der DB
- 21 Jahre Diagnose in Bahnanlagen

Liebe Leserinnen und Leser,

die Erkrankung zweier Redakteure hat die Redaktionsplanung für das Jahr 2004 doch erheblich durcheinander gebracht. Herausgeber und Chefredakteur haben sich deshalb entschieden es bei zwei Ausgaben der „BahnPraxis E“ im Jahr 2004 bewenden zu lassen.

Das Ihnen vorliegende Heft ist zwangsläufig sehr stark technisch orientiert und beschränkt sich auf zwei umfangreiche Artikel. Wir stellen Ihnen das Thema „Zulässige Oberstromgrenzwerte im elektrifizierten Streckennetz der DB AG“ in Gänze und ungeteilt vor. Wir haben uns dabei von der Annahme leiten lassen, dass es dadurch leichter fällt, das Thema zu erfassen.

Im zweiten Artikel wird das Thema „Diagnose in Bahnanlagen“ in vier Teilen beschrieben. Es wird die Nutzung der Thermografie an stationären und beweglichen Anlagen dargestellt. Wir erläutern auch die Verfahren der Endoskopie bzw. Videoskopie.

Der Beitrag zur OLSP ist für das „BahnPraxis E“ 1/2005 geplant, da sich die Erprobung der neuen Oberleitungsmastschalter der OLSP Egge-Tunnel verzögert hat. Aus den Bereichen EUK und DIN VDE wird ebenfalls in Ausgabe 1/2005 ausführlich berichtet.

Bedanken möchte ich mich an dieser Stelle für die kritischen, aber auch aufmunternden Worte zu meinem Start als Chefredakteur. Ich gehe davon aus, dass sich in den folgenden Jahren der gewohnte und bekannte Rhythmus wieder einstellen wird.

Die Redaktion von „BahnPraxis E“ wünscht Ihnen ein friedliches und gesegnetes Weihnachtsfest und für das neue Jahr alles Gute und Gesundheit.

Und besonders den Kolleginnen und Kollegen, die an Festtagen arbeiten müssen, einen ruhigen, vor allem unfallfreien Dienst.



Unser Titelbild:
Die Turbinenhalle des Wasserkraftwerks
Bad Reichenhall.
Foto: DB AG/Lautenschläger.

JAHRESINHALT 2004

BahnPraxis E 1/2004

- Seite 2 Editorial
Seite 3 Schutz gegen elektrischen Schlag – Teil 3
Seite 6 Elektrounfälle und kein Ende?
Seite 9 Neuer Unfallverhütungsfilm für den Bereich Oberleitungsanlagen
Seite 13 Oberleitungs-Spannungs-Prüfeinrichtung (OLSP) – Teil 1

BahnPraxis E 2/2004

- Seite 2 Editorial
Seite 2 Jahresinhalt 2004
Seite 3 Zulässige Oberstromgrenzwerte im elektrifizierten Streckennetz der DB AG
Seite 9 21 Jahre Diagnose in Bahnanlagen

Impressum „BahnPraxis E“

Zeitschrift für Elektrofachkräfte zur Förderung der Arbeitssicherheit und der Betriebssicherheit bei der Deutschen Bahn AG.

Herausgeber

Eisenbahn-Unfallkasse (EUK) – Gesetzliche Unfallversicherung – Körperschaft des öffentlichen Rechts, in Zusammenarbeit mit der DB Energie GmbH und der DB Netz AG, alle mit Sitz in Frankfurt am Main.

Redaktion

Horst Schöberl (Chefredakteur), Heinrich Berle, Martin Herrmann, Marcus Ruch (Redakteure).

Anschrift

Redaktion BahnPraxis E
DB Energie – D.EBZ 1
Anlagenmanagement 16,7 H Bahnstrom
Pfarrer-Perabo-Platz 2
60326 Frankfurt am Main.

Erscheinungsweise und Bezugspreis

Erscheint in der Regel 3-mal im Jahr. Der Bezugspreis ist für Mitglieder der EUK im Mitgliedsbeitrag enthalten. Die Beschäftigten erhalten die Zeitschrift kostenlos. Für externe Bezieher: Jahresabonnement € 7,50 zuzüglich Versandkosten.

Verlag

Eisenbahn-Fachverlag GmbH
Postfach 23 30, 55013 Mainz
Telefon: (0 61 31) 28 37 0
Telefax: (0 61 31) 28 37 37
ARCOR: (959) 15 58
E-Mail: Eisenbahn-Fachverlag@t-online.de

Druck und Gestaltung

Meister Druck, Werner-Heisenberg-Straße 7,
34123 Kassel.

Zulässige Oberstromgrenzwerte im elektrifizierten Streckennetz der DB

Markus Korgor, Marcus Ruch, DB Energie GmbH, Frankfurt am Main

Anfang April 2004 wurde wieder das aktuelle Oberstromschreiben mit den zugehörigen Karten innerhalb der DB Netz AG und der DB Energie GmbH verteilt. Diese Weiterleitung geschieht derzeit noch mittels E-Mail-Verteiler, soll jedoch zu einem späteren Zeitpunkt durch eine Online-Darstellung innerhalb des Projektes „Schienennetz-Nutzungs-Bedingungen“ ersetzt werden.

In diesem Artikel wird die thermische Belastbarkeit der Oberleitung als eines der wichtigsten Kriterien für die streckenabhängige Festlegung des zulässigen Oberstromwertes pro Zug erläutert sowie ein Messverfahren für diese thermische Belastung vorgestellt. Weitere den zulässigen Oberstrom pro Zug beeinflussende Faktoren werden aufgeführt und kurz dargestellt.

Zulässige thermische Belastbarkeit der Oberleitungen mit Fahrdrabt Ri 100 und Tragseil Bz II 50

Zu den Oberleitungen mit einem Kettenwerk aus Fahrdrabt Ri 100 und Tragseil Bz II 50 und zugehörigen Hängern zählen die Regelbauarten Re 100, Re 160 und Re 200. Diese Bauarten werden für Geschwindigkeiten bis 100 km/h, 160 km/h und 200 km/h verwendet. Die unterschiedlichen zulässigen Geschwindigkeiten beruhen auf der Verwendung eines Y-Beiseils zur elastischen Aufhängung des Fahrdrabts am Stützpunkt bzw. dessen Verzicht sowie auf der Länge dieses Beiseils. Für Neubau sind nur noch die Bauarten Re 100 und

Re 200 – für Geschwindigkeiten bis 100 km/h bzw. 200 km/h – zulässig. Die Bauart Re 160 stellt jedoch nach wie vor einen großen Prozentsatz der vorhandenen Oberleitungsbauarten im Streckennetz der DB dar. Elektrisch, d.h. hinsichtlich der Stromtragfähigkeit, sind diese drei Oberleitungsbauarten durch die Verwendung einheitlicher Bauteile identisch. Ein Unterschied ergibt sich für die Strombelastbarkeit allerdings durch die zwei möglichen „Regulierungen“.

Auch die DR-Bauarten Re 1 und Re 2 gehören zu der hier zu betrachtenden Gruppe von Oberleitungen, existieren allerdings nur in der so genannten 100-K-Regulierung.

70-K- und 100-K-Regulierung

Den drei genannten Oberleitungsbauarten Re 100, Re 160

und Re 200 ist gemeinsam, dass sowohl Tragseil und Fahrdrabt jeweils getrennt mittels Gewichten am Radspanner nachgespannt werden. Das Tragseil ist weiterhin auf schwenkbaren Rohrauslegern verlegt. Durch diese Maßnahmen wird erreicht, dass bei allen Temperaturen, unabhängig von der durch die Materialeigenschaften des Tragseils bzw. Fahrdrabts vorgegebenen Längenänderung, die gleichmäßige Höhenlage des Fahrdrabts gegeben ist.

Die zulässige Endtemperatur des Kettenwerkes wird zum einen bestimmt durch die zulässige Materialerwärmung des Fahrdrabtes sowie des Tragseils, allerdings mehr noch durch den Wanderweg der Radspannergewichtssäulen und die Schrägstellung der Schwenkausleger und Hänger. Der tatsächliche durch die Längenän-

derung hervorgerufene Wanderweg bzw. die Schrägstellung muss für den gewünschten Temperaturbereich „reguliert“ werden.

Bei älteren Oberleitungen wurde der Temperaturbereich festgelegt auf einen Umgebungstemperaturbereich von -30° C bis 40° C, d.h. für einen Bereich von 70 K. Diese Regulierung wird daher 70-K-Regulierung genannt. Die 70-K-Regulierung lässt darüber hinaus eine weitere Erwärmung des Kettenwerkes durch die Stromwärme um 15 K zu, so dass sich eine maximal mögliche Endtemperatur von 55° C ergibt. Die Oberleitungen mit einer Regulierung auf 70 K sind im Wesentlichen im Grundnetz, d.h. außerhalb der Ausbau- und Neubaustrecken zu finden.

Bedingt durch die auf Ausbaustrecken sowie in S-Bahn-Netzen gestiegene Belastung musste eine Regulierung eingeführt werden, die mehr als 15 K für die Stromwärme zulässt. Um eine höhere Stromtragfähigkeit zu erreichen, sind mechanische und elektrische Änderungen und Ergänzungen notwendig, die z.B. in der Technischen Mitteilung EM/AM 017/2003 der DB Netz AG – Produktmanagement Technik, NST – vom 29.12.2003 nachzulesen sind.

Mit Hilfe dieser Änderungen konnte eine zulässige Temperaturerhöhung für die Stromwärme um 30 K erreicht werden. Der Umgebungstemperaturbereich von -30° C bis 40° C wurde unverändert übernommen, so dass sich eine zulässige Endtemperatur von 70° C ergibt. Zur Unterscheidung von der schwächeren 70-K-Regulierung wird diese Regulierung als 100-K-Regulierung bezeichnet, d.h. hier wird in der Bezeichnung der gesamtmögliche Temperaturbereich inklusive Stromwärme genannt.

Mit der Harmonisierung der Normen wurde der Umgebungstemperaturbereich, ►

welcher den beiden Regulierungen zu Grunde liegt, von -30°C bis 40°C auf -30°C bis 35°C zuzüglich Sonnenwärme geändert. Für die Strombelastbarkeit der Oberleitungen hat sich hierdurch keine Änderung ergeben.

Bei den Oberleitungsbauarten Re 100 und Re 160 sind beide Regulierungsarten zu finden, während die Bauart Re 200 fast ausschließlich in 100-K-Regulierung errichtet wurde. Für Neubauten wird nur noch die 100-K-Regulierung angewendet.

Die DR-M-Oberleitungsbauarten Re 1 und Re 2 mit Fahrdrabt Ri 100 und Trageil Bz II 50 sind ebenfalls nur in 100-K-Regulierung vorhanden.

Theorie der Erwärmung eines stromdurchflossenen Leiters

Ein stromdurchflossener Leiter erwärmt sich durch die am ohmschen Widerstand des Leiters entstehende Verlustleistung. Die Erwärmung des Leiters bei konstantem Strom wird allgemein durch eine vereinfachte Funktion beschrieben (Formel 1). Diese Funktion hat den in Abbildung 1 gezeigten Verlauf.

$$\Delta\theta = \theta_{\infty} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

Formel 1

mit

$\Delta\theta$: Temperaturänderung

θ_{∞} : Endübertemperatur nach unendlich langer Zeit

τ : Thermische Zeitkonstante

$$\theta_{\infty} = \frac{\rho}{A \cdot \alpha \cdot U} \cdot i^2$$

Formel 2

$$\tau = \frac{\gamma \cdot \kappa \cdot A}{\alpha \cdot U}$$

mit

j : spezifische Stromdichte in A/cm^2

i : Strom in A

ρ : spezifischer Widerstand in $\Omega \cdot \text{cm}$ bei 20°C

α : Wärmeübergangszahl des Leiters in W/Kcm^2

γ : spezifische Dichte in g/cm^3

κ : spezifische Wärme in $\text{Ws}/\text{g} \cdot \text{K}$

U : Umfang des Leiters in cm

A : Querschnittsfläche des Leiters in cm^2

Für die Endübertemperatur nach unendlich langer Zeit sowie die thermische Zeitkonstante gilt Formel 2.

Bei dieser üblicherweise in der Literatur für die Berechnung der Leitererwärmung angegebenen Erwärmungsgleichung werden folgende Vereinfachungen getroffen:

- Es wird davon ausgegangen, dass die Anfangstemperatur des Leiters gleich der Umgebungstemperatur ist.
- Die Temperaturabhängigkeit des Widerstands des Leitermaterials wird vernachlässigt.
- Die von außen zugeführte Wärmeleistung wird nicht berücksichtigt

Diese getroffenen Vereinfachungen sind jedoch für die Berechnung der zulässigen Erwärmung durch einen bestimmten Strom zulässig, da mit der vereinfachten Formel die Erwärmung immer zu hoch berechnet wird. Somit wirkt sich der Fehler zur sicheren Seite aus und beträgt z.B. bei einem Strom von 400 A rund 12 Prozent.

Für den geneigten Leser, der sich auch über die vollständige Lösung der Differentialgleichung informieren möchte, empfehlen wir z.B. das Fachbuch „Kießling/Puschmann/Schmieder/Schmidt: Fahrleitungen elektrischer Bahnen, 2. Aufl., B.G. Teubner Stuttgart, Leipzig 1998“ oder die Veröffentlichung „Schmidt: Elektrische Belastung als Zufallsgröße und thermische Belastbarkeit von Leitungen bei mitteleuropäischen Bahnen, Elektrische Bahnen 90 (1992), H. 6“.

Weitere Einflussgrößen auf die Erwärmung des Kettenwerks sind die Umgebungstemperatur, die Windgeschwindigkeit und die von außen zugeführte Wärmeleistung.

Umgebungstemperatur und von außen zugeführte Wärmeleistung

Die geringste Strombelastbarkeit ergibt sich, wenn das Kettenwerk bereits durch die Umgebungstemperatur deutlich erwärmt wird. Wie bereits ausgeführt, wurde die Umgebungstemperatur nach DIN 43141 mit 40°C angesetzt, während andere Normen von 35°C ausgehen.

Zusätzlich ist neben der höchsten Umgebungstemperatur auch die von außen zugeführte Wärmeleistung in Form von Sonnenstrahlung und diffuser Himmelsstrahlung, zusammenfassend als Globalstrahlung bezeichnet, zu berücksichtigen. Messungen haben ergeben, dass die Erwärmung eines Fahrdrabts durch die Globalstrahlung auch unter extremsten Einstrahlungsbedingungen 6 K nicht überschreitet.

Als Kompromiss wurde die ursprüngliche Angabe der höchsten Umgebungstemperatur von 40°C geändert in eine Umgebungstemperatur von 35°C zuzüglich 5 K für die Sonneneinstrahlung bzw. Globalstrahlung geändert. Somit konnten die seitens des BZA München berechneten zulässigen Strombelastbarkeiten für die 70-K- bzw.

100-K-regulierten Oberleitungen beibehalten werden.

Einfluss der Windgeschwindigkeit

Die Windgeschwindigkeit hat den größten Einfluss auf die Erwärmung des Kettenwerks. Der maßgebende Faktor für die vom Leiter an die Umgebung abgegebene Wärmeleistung ist der Wärmeübergangskoeffizient.

Mit steigender Windgeschwindigkeit steigt linear auch der Wert des Wärmeübergangskoeffizienten. Betrachtet man nochmals die Formeln für die thermische Zeitkonstante sowie die Endübertemperatur, so erkennt man, dass sich die Werte für die thermische Zeitkonstante und die Endübertemperatur umgekehrt proportional verhalten, d.h. bei starkem Wind ist eine höhere Strombelastbarkeit gegeben als bei schwachem Wind. Außerdem verläuft der Erwärmungsvorgang bei starkem Wind schneller als bei schwachem Wind. Abbildung 2 veranschaulicht diese Zusammenhänge.

Für die Ermittlung der Strombelastbarkeit der Oberleitungskettenwerke wurde aufgrund der meteorologischen Statistik angenommen, dass bei hohen Außentemperaturen von einer Mindestwindgeschwindigkeit von 1 m/s ausgegangen werden kann.

Strombelastbarkeit der Oberleitungsbauarten mit Fahrdrabt Ri 100 und Trageil Bz II 50

Für die Berechnung der Strombelastbarkeit geltenden die in den vorangegangenen Abschnitten ermittelten Randbedingungen einer Umgebungstemperatur von 35°C zuzüglich 5 K für die Sonneneinstrahlung sowie einer Windgeschwindigkeit von mindestens 1 m/s. Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass der Fahrdrabt Ri 100 um bis zu 20 Prozent abgenutzt werden darf.

Abbildung 3 zeigt die unter diesen Randbedingungen ermit-

telten Endübertemperaturen für einen neuen und einen abgenutzten Fahrdrabt in Abhängigkeit vom Dauerstrom.

Wie Abbildung 3 zeigt, ergibt sich eine Dauerstrombelastbarkeit für die hier betrachteten Regelbauarten von:

- 420 A bei 70-K-Regulierung, d.h. 15 K Übertemperatur durch Stromwärme,
- 560 A bei 100-K-Regulierung, d.h. 30 K Übertemperatur durch Stromwärme.

Diese Dauerstrombelastbarkeit ist jedoch zunächst nicht weiter anwendbar, da die Belastung durch einen beschleunigenden Zug nur kurzzeitig bis zu einigen Minuten wirksam ist. Es wird also die zulässige Strombelastbarkeit der Oberleitung in Abhängigkeit der Zeit benötigt, welche mit den bereits vorgestellten Berechnungsformeln ermittelt werden kann. Der Verlauf der zulässigen Kurzzeitstrombelastbarkeit über der Zeit ist beispielhaft für eine 100-K-regulierte Oberleitung in Abbildung 4 dargestellt.

Abbildung 4 zeigt, dass im Kurzzeitbereich die Dauerstrombelastbarkeit deutlich überschritten werden kann. So lässt sich z.B. ablesen, dass der auf Ausbaustrecken übliche zulässige Oberstrom pro Zug von 900 A bis zu 2 min lang vom Zug „gezogen“ werden könnte. Tatsächlich könnte durch den Unterstützungseffekt des parallelgeschalteten Kettenwerks des zweiten Gleises dieser Oberstrom auch noch für mehr als 2 min zur Verfügung gestellt werden – sofern nicht auch noch weitere Züge im Speiseabschnitt mit ihren Oberströmen berücksichtigt werden müssen.

Festlegung des zulässigen Oberstroms für einen Streckenabschnitt

Bei der Dimensionierung der Bahnstromversorgung für Neu-

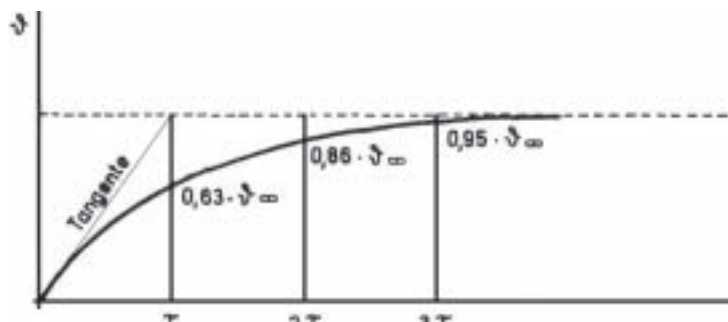


Abbildung 1: Verlauf der Erwärmung eines stromdurchflossenen Leiters.

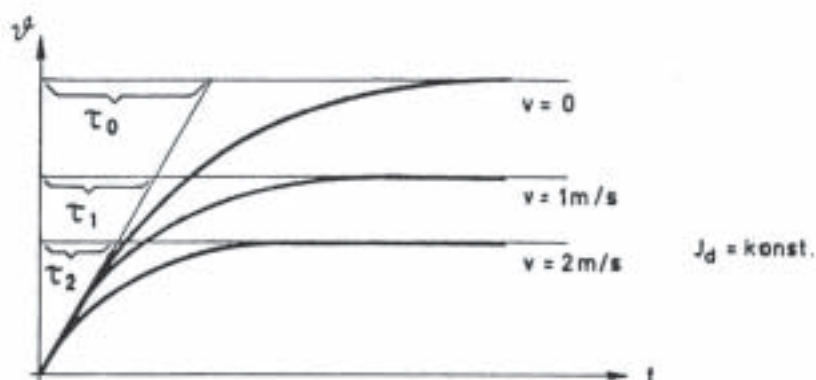


Abbildung 2: Einfluss der Windgeschwindigkeit.

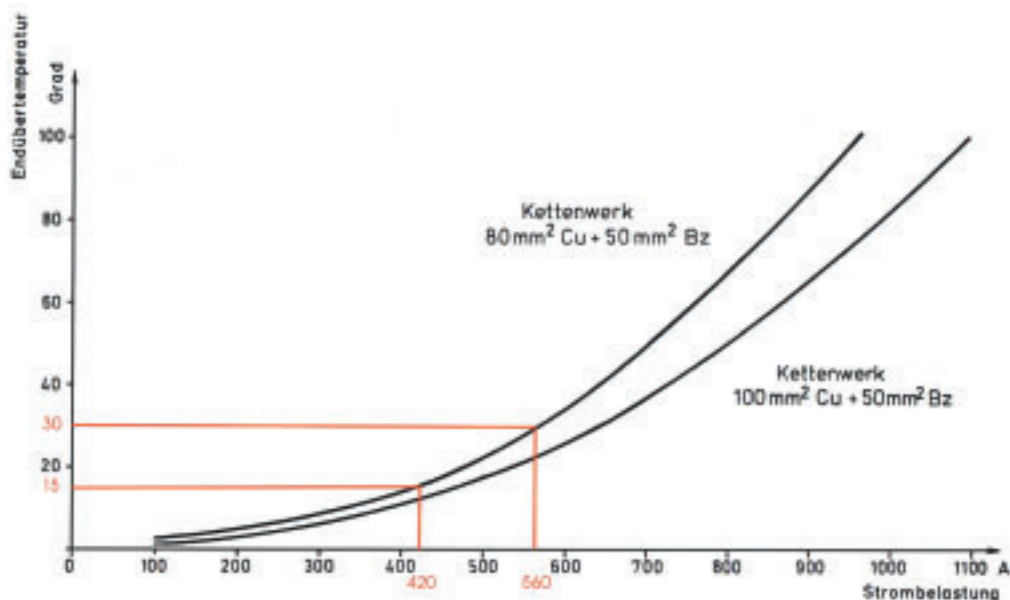


Abbildung 3: Endübertemperatur des Kettenwerks.

bau- oder Ausbaustrecken bzw. der Festlegung der zulässigen Oberströme bei vorhandener Infrastruktur stellt die Berücksichtigung aller zur gleichen Zeit in einem Speiseabschnitt befindlichen Züge mit den entsprechenden momentanen

Oberstromaufnahmen die eigentliche Aufgabe dar. Zur Lösung dieser Aufgabe existieren mehrere Hilfsmittel, wie z.B.:

- Erfahrungswerte zum Energiebedarf verschiedener Zuggattungen, ▶

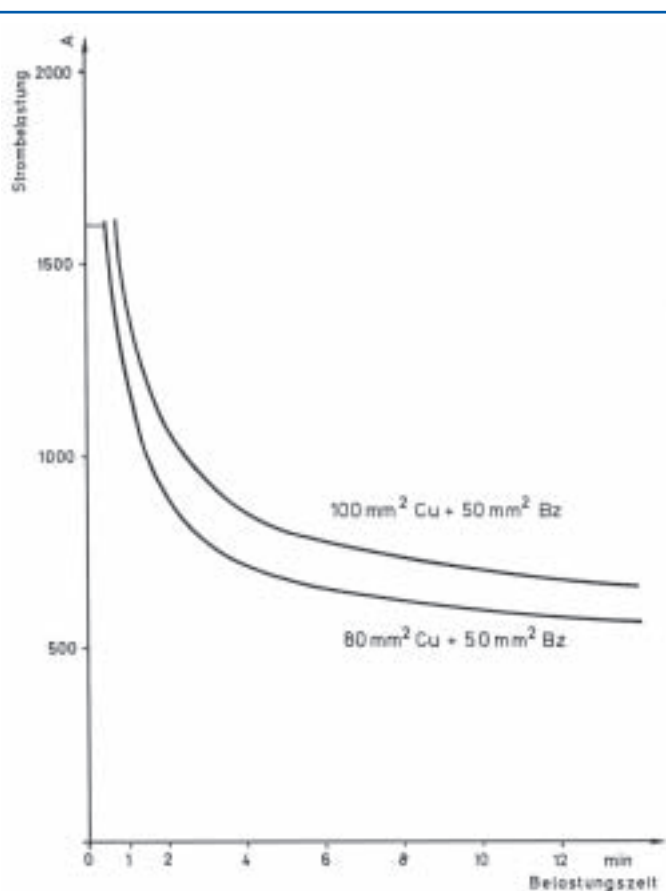


Abbildung 4:
Zulässige Kurzzeitstrombelastbarkeit
eines 100-K-regulierten Kettenwerks.

- Leistungs-, Verbrauchs- und Oberstromdiagramme der Tzf-Baureihen,
- Zugfahrtsimulationsprogramme,
- Lastflusssimulationsprogramme.

Als Eingabedaten für die Simulationsprogramme bzw. als Randbedingungen für die Berechnungs-/Abschätzmethoden werden benötigt:

- Betriebsprogramme und/oder Fahrpläne, d.h. Aussagen zur Zugfolge,
- Angaben zu den zu berücksichtigenden Triebfahrzeugen,
- Zuglasten,
- gefahrene Geschwindigkeiten,
- Höhenprofil der Strecke,
- Oberleitungsausrüstung der Strecke (inklusive Speiseleitungen),
- Elektrische Parameter, wie Länge des Speiseabschnitts, Ausrüstung der speisenden Schaltanlagen usw.

Mit Hilfe aller dieser Randbedingungen und Berechnungsmethoden kann letztendlich der Oberleitungsabzweigstrom im Unterwerk oder Schaltposten ermittelt werden. Der Oberleitungsabzweigstrom stellt die Summe aller Oberströme dar, die von den Zügen im Speiseabschnitt momentan aufgenommen werden, unter Berücksichtigung der durch die Impedanzen vorgegebenen Verteilung auf die beiden speisenden Schaltanlagen.

Mit dem so ermittelten Oberleitungsabzweigstrom steht die maximale Belastung der Oberleitung sowie der Speiseleitungen und Speisekabel (s.a. „15-kV-Speisekabel-Belastung und Dimensionierung“ in BahnPraxis E, Ausgabe 1/2003) fest. Anhand der zulässigen thermischen Belastbarkeit des vorhandenen Oberleitungstyps kann nun festgelegt werden, ob aus Sicht der Bahnstromversorgung die gewünschten Oberströme pro Zug zugelassen werden können. Bei Oberstromanhebungen ist es zusätzlich erforderlich abzuklären, dass die Einrichtungen der Leit- und Sicherungstechnik durch die veränderte Situation nicht unzulässig beeinflusst werden.

Abbildung 5 zeigt die ab Dezember 2004 zulässigen Oberströme für schnell fahrende

Reisezüge im elektrifizierten Streckennetz der DB („Oberstromkarte“). Um Ihnen einen Überblick zu geben, wie die in Abbildung 5 angegebenen Oberströme genutzt werden können, haben wir in Tabelle 1 die maximalen Oberströme einiger Züge zusammengestellt. Zu beachten ist, dass diese Oberströme nur in Beschleunigungsphasen bzw. teilweise auch auf starken Steigungsstrecken zum Halten der Geschwindigkeit benötigt werden. Grundsätzlich kann aber z.B. ein ICE 1 auch bei einer Oberstrombegrenzung auf 600 A/Zug eine Geschwindigkeit von 200 km/h erreichen und halten. Die Beschleunigung dauert dann nur etwas länger als bei 900 A/Zug. In der Beharrung werden dagegen deutlich niedrigere Ströme benötigt!

Die in Abbildung 5 angegebenen Oberstromwerte gelten nur für schnell fahrende Reisezüge, weil die Kurzzeitüberlastbarkeit der Oberleitungskettenwerke nach Abbildung 4 für höhere Oberströme ausgenutzt werden muss. D.h. es ist sicherzustellen, dass der hohe Oberstrom pro Zug jeweils nur kurzzeitig abgefordert wird und die Oberleitung anschließend Gelegenheit hat, wieder abzukühlen. Würden dagegen langsame Güterzüge z.B. während einer Bergfahrt in Doppeltraktion über eine längere Zeitspanne einen erhöhten Oberstrom aufnehmen, wäre das Kriterium der Kurzzeitüberlastung nicht gegeben und die Oberleitung würde thermisch überlastet.

Will man auch für Güterzüge in solchen Situationen höhere Oberströme zulassen, so müssen Verstärkungsleitungen vorhanden sein. Zusätzlich kann es erforderlich sein, betriebliche Maßnahmen festzulegen, wie z.B. Verlegung solcher Güterzugfahrten mit erhöhtem Oberstrom in die Nachtstunden mit niedrigen Außentemperaturen oder Verlängerung des zeitlichen Abstandes zur vorausfahrenden und/oder nachfolgenden Zügen um eine

Tabelle 1:
Mögliche Oberstromwerte
verschiedener Triebfahrzeuge.

Baureihe	Zug	max. Oberstrom, der vom Tzf aufgenommen werden kann
101, 120, ÖBB 1016/1116	1 Lok + IC/EC ¹⁾	< 600 A/Zug
151, 152, 155, 182, 185, 189	1 Lok + Gz (alle Gattungen) ¹⁾	< 600 A/Zug
401, 402	ICE-Triebzug (2 Triebköpfe)	900 A/Zug
403, 406	2 Tw (Vollzug)	1500 A/Zug
411	2 Tw (Vollzug)	780 A/Zug
415 + 411	415 + 411	735 A/Zug
420	3 Tw (Langzug)	1050 A/Zug
423, 424, 425	3 Tw (Langzug)	650 A/Zug

¹⁾ Bei Zügen mit Doppeltraktionen dieser Baureihen ist eine Überschreitung des Oberstroms von 600 A pro Zug möglich. Hier muss der Triebfahrzeugführer dafür Sorge tragen, dass der zulässige Summenoberstrom beider Triebfahrzeuge den Grenzwert einhält.

nicht vorbelastete Oberleitung bzw. eine genügend lange Abkühlphase zu gewährleisten.

Wie man sieht, verursacht die Ermittlung des zulässigen Oberstroms pro Zug einen nicht unerheblichen Aufwand. Um diesen Aufwand zu verringern sowie um sich bei Bestandsstrecken einen Überblick über die tatsächliche Belastung der Oberleitung zu verschaffen, gibt es die Möglichkeit die Oberleitungsbelastung zu messen mittels eines i^2t -Messgerätes.

i^2t -Messgeräte

Aus den in Abbildung 3 dargestellten Zusammenhängen zwischen Endtemperatur und Strombelastung eines Kettenwerks ist die charakteristische Kennkurve für ein Kettenwerk bekannt. Mit Hilfe von Messungen an Oberleitungsabzweigen und entsprechender Aufbereitung der Messwerte kann ermittelt werden, ob das gemessene Kettenwerk durch die Traktionsströme überlastet wird.

Zur Ermittlung der thermischen Belastung der Oberleitung werden seit 2003 die neuen i^2t -Messgeräte genutzt. Diese Geräte wurden speziell für diesen Anwendungsfall bei DB Systemtechnik, T.ZZF 72 gebaut.

Aufbau der i^2t -Messgeräte

Die Messgeräte sind in ein Kunststoffgehäuse eingebaut, in dem ein Einplatinenrechner die Messwerte aufbereitet und mittels eines nichtflüchtigen Speichers (Flash-Eprom) abspeichert. Die Messwerterfassung erfolgt über eine Rogowskispule.

Die Geräte speichern aus 100 gemessenen Effektivwerten pro Minute den arithmetischen Mittelwert, neben dem Stromwert wird noch die zugehörige Uhrzeit gespeichert. Zu Beginn einer Messung setzt das Gerät einen Zeitimpuls im Speicher, somit können auch mehrere Messungen im Speicher voneinander unterschieden werden. Die Messdauer wird durch

Netzkonzeption Dimensionierung 15-kV-Netz

Die Bahn **DB**

Höchstzulässige Oberströme für schnell fahrende Reisezüge



die eingesetzten Batterien begrenzt. Mit frischen Batterien ist eine Messdauer von ca. 1 Woche zu erreichen.

Durchführung von Messungen

Da der Strom einzelner Kettenwerke oder Strecken gesucht ist, wird geeigneterweise der Strom in einem Speisekabel oder einer Speisefreileitung ge-

messen. Dazu wird die Rogowskispule um den zu messenden Leiter gelegt.

Die Position des Leiters innerhalb der Rogowskispule ist beliebig, der zu messende Leiter soll aber rechtwinklig die von der Rogowskispule aufgespannte Fläche schneiden – andernfalls ergeben sich Messfehler. ▶

Abbildung 5:
Oberstromkarte.



Abbildung 6:
Eingebaute ρ^2 -Messgräte (Messung im Uw Mainbernheim).

Abbildung 7:
Auswertung einer Messung (zwei Oberleitungs-Kettenwerke).

Ein Teil der Messgeräte ist mit Klemmen und einer Vorrichtung zur Positionierung der Rogowskispule versehen. Damit können die wetterfesten Geräte direkt an den zu messenden Leiter (z.B. eine Speisefreileitung) gehängt werden. Da die Isolationsfähigkeit der Geräte nicht für 15 kV ausreicht, müssen die Geräte bei Montage an einem blanken 15 kV-Leiter mit einem Sicherheitsabstand von mindestens 50 cm gegenüber dem Erdpotential eingebaut werden. Bei Einbau in der Nähe anderer blanker spannungsführender Teile ist ebenso auf ausreichenden Abstand zu achten.

Bisher wurde vorwiegend direkt an den isolierten Speisekabeln im Unterwerk gemessen, dazu werden in der Zelle eines Oberleitungsabzweigs die Messgeräte eingebaut (siehe Abbildung 6). Bei Unterwerken die noch über einen Kabelkeller verfügen, ist der Einbau der Messgeräte noch einfacher, da hierbei keine Freischaltung des Oberleitungsabzweigs erforderlich ist.

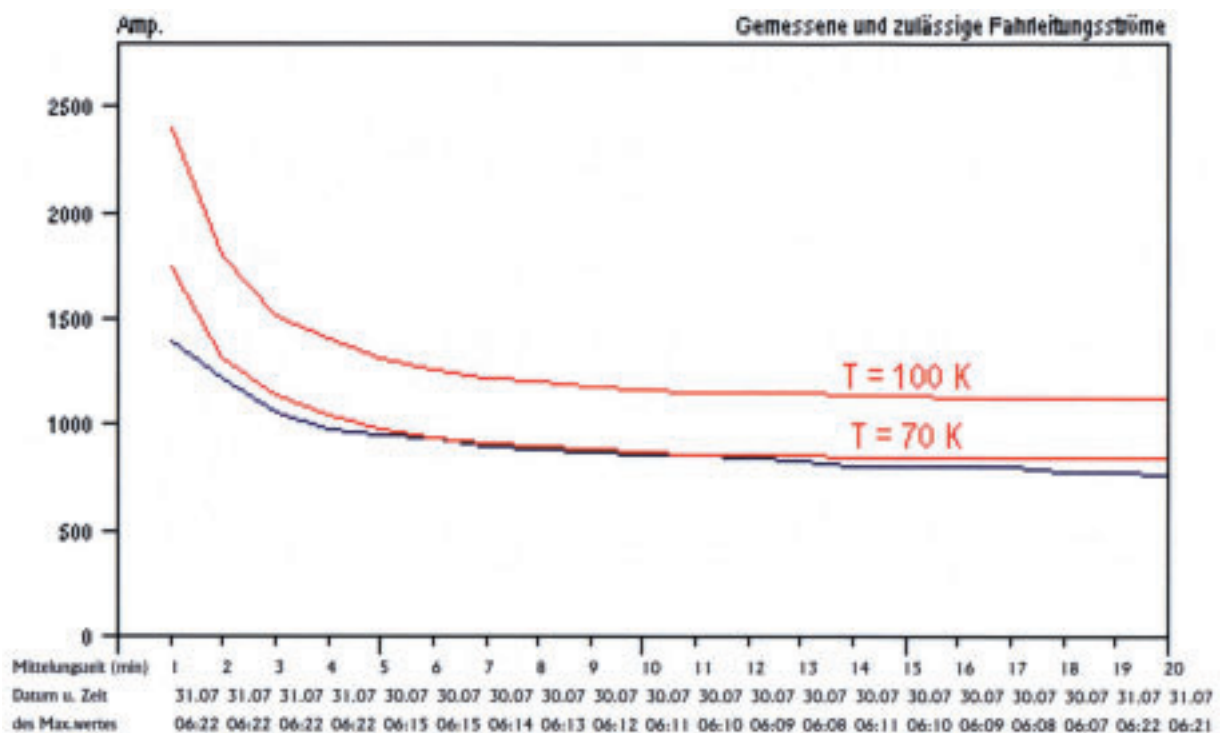
Der Ausbau der Geräte erfolgt, nachdem die gewünschte

Messdauer erreicht wurde. Ein Ende der Messung durch entleerte Batterien ist kein Problem, da die Messwerte von der Batteriespannung unabhängig gespeichert werden.

Auswertung von Messungen

Die Auswertesoftware erlaubt es die Messwerte neben den Referenzkurven der zulässigen Ströme in Kettenwerken darzustellen.

In Abbildung 7 zeigt die blaue Kurve die höchsten quadratischen Mittelwerte des Fahrleitungs- bzw. Speiseleitungsstroms an der Messstelle. Nacheinander werden der höchste Wert für eine Minute und dann der für zwei Minuten usw. dargestellt. Die hier vorgestellte Messung für zwei Kettenwerke in 70-K-Regulierung berührt im mittleren Zeitbereich die 70-K-Referenzkurve. Anhand dieser Darstellung wird ersichtlich, dass die Oberleitung in diesem Beispiel keine Kapazität für weitere Zuwächse elektrischen Traktionsstroms mehr bietet. ■



21 Jahre Diagnose in Bahnanlagen

Matthias Sieg, DB ProjektBau GmbH, NL Ost

Mit diesem Artikel wollen wir Ihnen einen Überblick über Einsatzmöglichkeiten der Thermografie und anderer Diagnoseverfahren bei der DB AG geben.

Thermografie als Diagnoseverfahren in der Instandhaltungsvorbereitung

Was ist Diagnose?

Aus der Medizin wissen wir, die Diagnose dient der Ursachenermittlung für Krankheiten. Im technischen Sinn wurde dieser Begriff für die Ermittlung des Ist-Zustandes eines Betriebsmittels übernommen. Würden Betriebsmittel keinen Veränderungen im Betriebszustand und keinem Verschleiß unterliegen, gäbe es keine Ausfälle und es bestände kein Bedarf Instandhaltung zu betreiben. Die Ursachen für Veränderungen von Eigenschaften der Betriebsmittel sind sehr unterschiedlich. Veränderungen an den Betriebsmitteln können hervorgerufen werden durch:

- Verschleiß mit Materialabnutzungen oder Materialermüdungen,
- Verschmutzungen mit Minderungen der Betriebstauglichkeit,
- falsche Dimensionierung,
- Fehler bei der Installation,
- Fehlverhalten des Betriebspersonals,
- äußere Einflüsse aus der Umwelt von Tieren und der Witterung.

Diese Veränderungen sind Vorankündigungen von Störungen.

Die Anlagenbemessung wird an Benutzungsgrenzen orientiert. Werden diese überschritten,

führen sie zum Ausfall bzw. zur vorzeitigen Alterung der Anlagenteile. Die mit der Alterung einhergehende Erhöhung der Ausfallwahrscheinlichkeit fordert technische Maßnahmen, die den Anlagenausfall verhindern. In erster Linie sollte bei der Investition schon auf hohe Funktionsstabilität der Betriebsmittel gesetzt werden. Hundertprozentige Betriebssicherheit kann nicht produziert werden. Deshalb garantierte bisher die zyklische Instandhaltung vorbeugend die Funktionsfähigkeit der Anlagen. Heute beruht auf Grund der reduzierten Personale die Instandhaltung auf Befundung und Ereignisanalyse zur Anlagensicherung. Die Anlagenverantwortung obliegt dem ortsansässigen Meistern und Ingenieuren. Auf Grund hoher Verfügbarkeit und Redundanz der Anlagen kommt es nicht sofort zu einer Störungsauswirkung. Im Instandhaltungsrahmen wurde bisher gleichzeitig bewusst und unbewusst eine bauteilbezogene Diagnose und der daraus folgenden Instandsetzung durchgeführt. Diese Ereignisse gingen nie in eine Fehlerstatistik ein, weil der Ausfall nicht eingetreten ist und eine Meldung nicht notwendig war. Ein Beispiel: „Beim Putzen eines Bauteils wird automatisch die Festigkeit der Klemmen und der Isolation geprüft. Wurde ein loses Bauteil oder ein Haarriss im Isolator festgestellt, war damit die Fehlerdiagnose erfolgt und die Beseitigung sofort eingeleitet.“ Weil Bauteile ein spezifisches Lebensdauerverhalten besitzen, das einen Ausfall ankündigt, können Diagnoseverfahren zur

vorbeugenden gezielten Instandsetzung eingesetzt werden. Das ist auch gleichzeitig der Vorteil der diagnosebezogenen Instandhaltung, nur an fehlerhaft diagnostizierten Bauteilen Instandsetzungen durchführen zu müssen. Der direkte Weg Fehlerstellen in der Elektrotechnik zu ermitteln ist das Messen von Spannungsabfällen. Das ist zeitaufwendig und wegen der notwendigen Abschaltung der Anlagen nicht sinnvoll. Es werden deshalb andere Wege für die Diagnose benötigt.

In Instandhaltungsrichtlinien können nicht alle Diagnoseverfahren aufgenommen werden, so bleibt es dem Anlagenverantwortlichen der eigenen Kreativität überlassen z.B. die Thermografie als Diagnoseverfahren einzusetzen. Die Temperatur ist eine der vorgegebenen Benutzungsgrenzen für Betriebsmittel und eignet sich damit als Überwachungsgröße.

Kein technischer Vorgang ohne Verluste. Verluste sind Energien, die sich im Wärmehaushalt der Bauteile widerspiegeln. Die moderne Messtechnik ermöglicht über die Wärmestrahlung die Darstellung von fototechnischen Energieabbildern technischer Vorgänge.

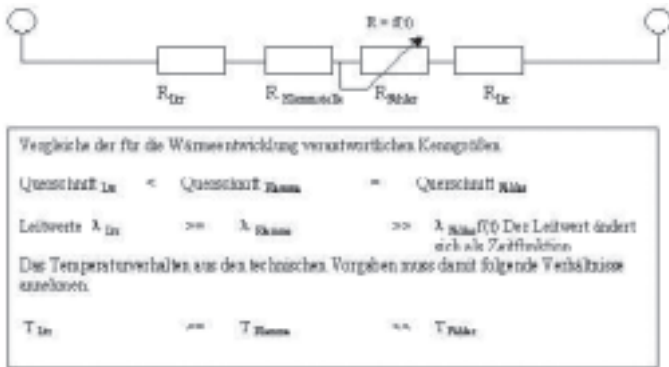
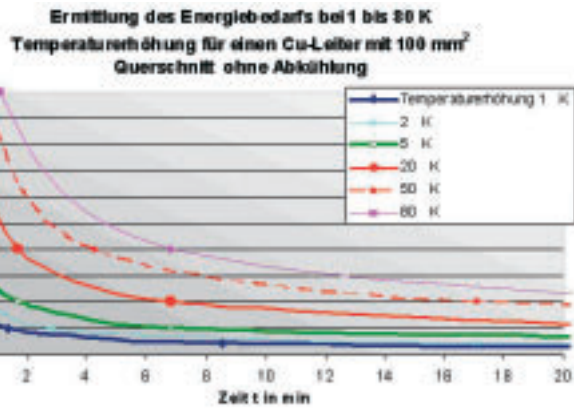
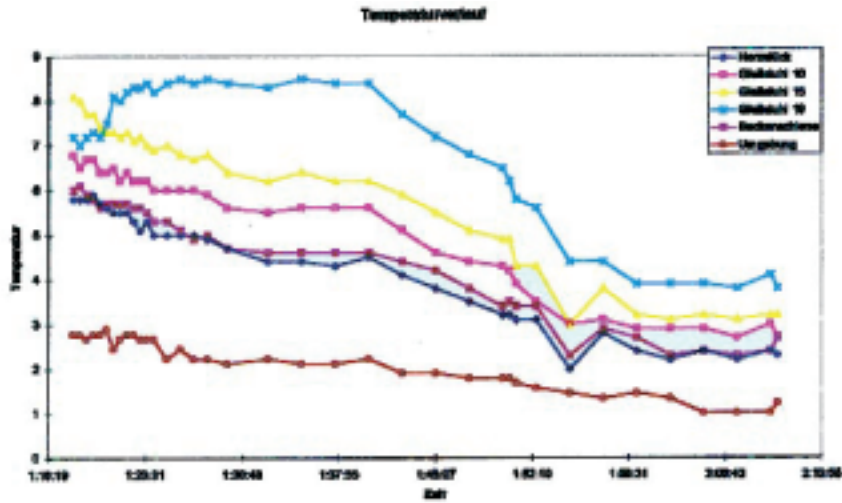
Die Aufnahme ist vergleichbar mit der Fotografie und erfolgt berührungslos. Prinzipiell ist der Einsatz der Thermografie in allen technischen Gebieten z.B. der Mechanik, im Bauwesen, bei allen Energieübertragungen, auch in der Medizin usw. mög-

lich. Die Bemessung von Anlagen wird hauptsächlich durch den Kurzschlussstrom und den Spannungsabfall bestimmt. Das Erreichen der Grenztemperatur spielt eine untergeordnete Rolle. Die thermische Diagnose in elektrotechnischen Anlagen ist ein indirektes Messverfahren zur Ermittlung von Spannungsabfällen, die auf einen Fehler hinweisen. Aus den ermittelten Temperaturänderungen müssen Bewertungen gefunden werden, die betriebsbedingte Erwärmungen von fehlerhaften unterscheiden.

Vor 21 Jahren wurde auf Grund größerer Störungen im Überleitungsnetz der Deutsche Reichsbahn der Einsatz der Infrarotmesstechnik für die vorbeugende Instandhaltung eingeführt. Das erste Infrarotmeßsystem bestand aus einem mit flüssigem Stickstoff gekühlten Detektor und konnte schwarzweiße Miniaturabbildungen im Echtzeitmodus erzeugen. Die Auswertung an Computern war nicht möglich. Heute werden Messgeräte eingesetzt, die über interne Kühlsysteme verfügen und mit hoher Messgenauigkeit und Messgeschwindigkeit arbeiten. Rechentechnische Auswertungsmöglichkeiten erhöhen die Einsatzbedingungen der Systeme.

Warum ist die thermische Diagnose für die Elektrotechnik so interessant?

Verluste in elektrotechnischen Anlagen können vereinfacht auf Stromwärmeverluste und dielektrische Verluste zurückgeführt werden. Beide Verlustarten sind Energien, deren Umwandlung mit einer Wärmeentwicklung einhergeht. Ist diese Wärmeentwicklung so groß, dass sie auf der Bauteiloberfläche Temperaturänderungen erzeugt, kann mit der Thermografie der Zustand der Bauteile bewertet werden. Zur Bewertung der Zustandsänderung sind Kenntnisse des thermischen Gleichgewichtes notwendig. Umwelteinflüsse und Bauteilverbindungen beeinflussen ►



Von oben nach unten:

Diagramm 1.
Diagramm 2.
Schema 1.

das thermische Gleichgewicht. Die Einflussgrößen für die Zustandsbeschreibungen für zuführende und ableitende Energiebestandteile werden mit der Wärmeleitung, der Wärmestrahlung und der Konvektion inklusive dem Wärmeübergang und den Strömungsverhältnissen in angrenzenden Luftschichten bestimmt. Einzeln betrachtet sind diese Gesetzmäßigkeiten überschaubar. Im Realen treten alle Vorgänge

gleichzeitig auf und lassen den gesamten thermodynamischen Ablauf kompliziert werden. Für die Berechnungen thermischer Vorgänge werden kleine Einflussgrößen vernachlässigt und aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Damit wird für die Bauteildimensionierung immer der ungünstigste Zustand berechnet.

Thermische Vorgänge an der elektrischen Weichenheizung

Ein Beispiel für das Zusammenspiel der thermischen Abläufe ist die elektrische Weichenheizung, da die Funktion einfach zu verstehen ist und vielen bekannt sein dürfte. Ein zufälliges Messergebnis ist im Diagramm 1 mit den Temperaturentwicklungen an einer Klotoidenweiche bei einem Witterungsumschwung dargestellt.

Es gibt Tage, da scheint es viele Weichenheizungsstörungen zu geben, die beim Überprüfen keine sind. Die Ursache liegt an besonderen Witterungsverhältnissen.

Physikalisch ist für den Temperaturhaushalt der erste Hauptsatz der Wärmelehre verantwortlich. Die innere Energie, bestimmend für die Temperatur des Bauteils, ist gleich der Summe der zugeführten und abgeführten Energien. Die Energiezuführung erfolgt durch die

Stromwärme. Die Sonne scheint in der Nacht nicht und andere Wärmequellen sind nicht vorhanden. Damit wird es auf der Seite der Wärmezuführung einfach. Die Wärmeabgabe, wie oben kurz angedeutet, ist wesentlich komplizierter. Sie ist vergleichbar mit den Wettervorhersagen. Der Energiefluss für alle Transporteigenschaften folgt von der höheren Temperatur zur niederen Temperatur. Der Heizstab wird eingeschaltet, wenn die Einschaltbedingungen erfüllt sind. Am eingeschalteten Heizstab werden Wasser- und Luftpartikel erwärmt und zum Aufsteigen in die Umgebung gebracht. Ohne Wind fallen sie im Anfangsstadium wieder auf den Stab zurück und erwärmen sich bis die Energie groß genug ist, um vollständig aufzusteigen. Das ist vergleichbar mit einem Kochtopf mit Deckel. Wenn der Wind diese Partikel wegpustet, wird die Energie schneller abgeführt, dem Kochtopf fehlt der Deckel. Ist Wind und Feuchtigkeit groß genug, sinkt die Temperatur im Bauteil weiter ab. Diesen Effekt erleben die Autofahrer zum Beispiel an den Autoscheiben, wenn sie diese frei kratzen müssen, obwohl eigentlich die Temperatur noch nicht unter 0° C liegt.

Die verbleibende Wärme soll in die Weiche eingeleitet werden. Dazu sind hauptsächlich der Wärmeübergang bei guter Flächenauflage und die anschließende Wärmeleitung verantwortlich. Im Energiehaushalt der vorgestellten Messung ist die abgeführte Energie größer als die zugeführte Energie. Die Weiche kühlt weiter ab, obwohl die Heizung eingeschaltet ist. Setzt sich diese Bedingung weiter fort, kommt es zum Einfrieren der beweglichen Bauteile.

Was kann man gegen die unerwünschte Abkühlung unternehmen?

1. Die Weiche an solchen extremen Tagen früher einschalten oder
2. den Heizstab konstruktiv abdecken, damit der Wind

ihn nicht auskühlen kann oder

3. nur die Bauteile durch konstruktive Änderung beheizen, die die Weiche funktionsstüchtig erhalten.

Das beschriebene Wärmeverhalten kann bei jeder Messaufgabe auftreten und muss vom Messpersonal erkannt werden. Dazu gehört, dass möglichst die vollständige Anlage, die Leitungswege, Bauteile und Bauteilgruppen separat betrachtet werden können. Die Höhe der inneren Energie eines Bauteiles ist für dessen Temperatur verantwortlich. Betrachtet man eine zugeführte Energie unter dem damit verbundenen Temperaturverhalten, kommt man zu folgenden Überlegungen: Alle Erwärmungen ergeben sich aus der zugeführten Energie innerhalb eines Zeitintervalls. Im Diagramm 2 sind für Leiterstücke von 10 cm Länge als Vergleichsgrundlage gegenüber Klemmstellen mit unterschiedlichen Querschnitten die Wärmemenge dargestellt, die notwendig ist, um das Material um 1 K bzw. mehr zu erwärmen.

Die Erwärmung wird begrenzt in der oberen Grenze durch die maximal für den Querschnitt zugelassene Strombelastung und als untere Grenze durch den Einfluss der Wärmeabgabe in einem für die Messung relevanten Betrachtungszeitpunkt. Es ergibt sich aus den Kurven ein sinnvoller Messbereich. Aus dem Diagramm 2 kann für einen 100 mm² Cu-Leiter die benötigte Energie in Abhängigkeit von Strom und Zeit für unterschiedliche Temperaturerhöhung ermittelt werden. Z.B. muss für 1 K Temperaturerhöhung ein konstanter Strom von 5 A über einen Zeitraum von 1:22 min fließen. Für die thermische Diagnose besitzen Leistungen unter 0,1 der Nennlast auch mit der besten thermischen Auflösung nur geringe Erfolgchancen. Im Umkehrschluss sind Erwärmungen mit geringen Grundlasten besonders hoch gefährdete Anlagenbauteile.

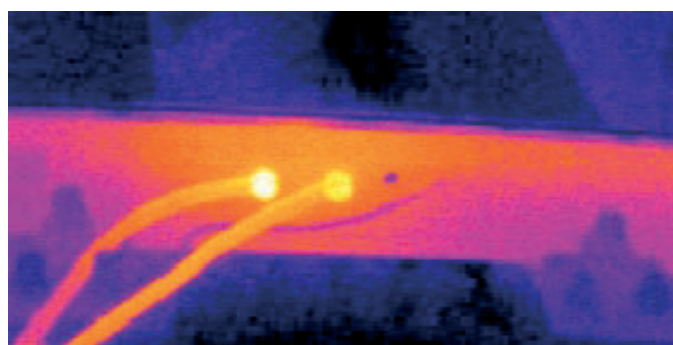
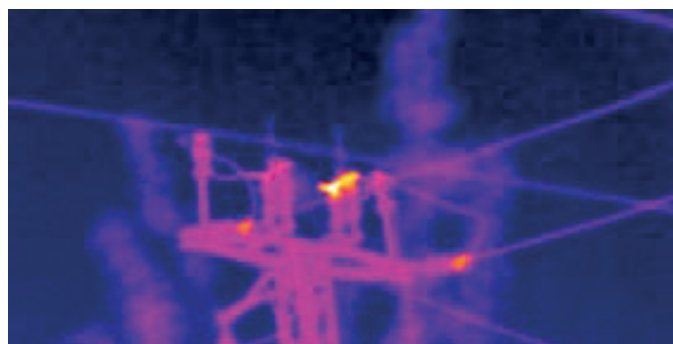
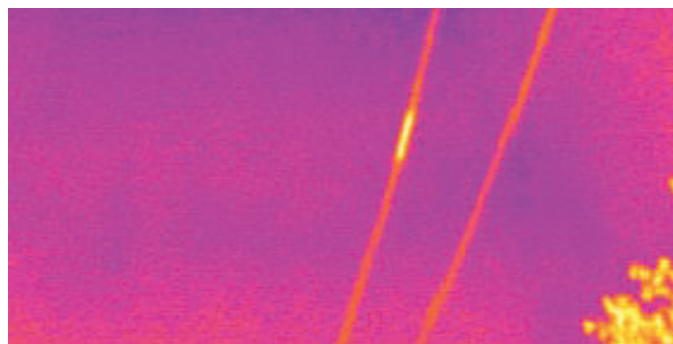
Zieht man den Einfluss der Abkühlung zu den Betrachtungen hinzu, steigt der Energiebedarf, um das gleiche Bauteil erwärmen zu können. Mit steigender Temperaturdifferenz steigt die Wärmeabgabe und damit der Energiebedarf, um das gleiche Bauteil erwärmen zu können.

Stromwärmeverluste

Für die Fehlerermittlung aus der Temperatur ist der Vergleich zwischen den im Stromkreis befindlichen Bauteilen ein wichtiges Hilfsmittel zur Beurteilung des Anlagenzustandes. Die Verlustleistung, Strom mal Spannungsabfall, ist für die Wärmeentwicklung verantwortlich. Die zeitliche Entwicklung des Widerstandsverhaltens gibt den Ausschlag für die Lebensdauerbewertung. In der schematischen Stromkreisdarstellung (Schema 1) und den dazugehörigen Größenverhältnissen sind die elektrotechnischen Einflussgrößen darstellen.

Stromwärmeverluste sind das klassische Einsatzgebiet der Thermografie zur Ermittlung des Ausfallverhaltens an Klemmstellen. Dabei muss man wissen, dass Klemmstellen aus ihrem konstruktiven Aufbau einen größeren Leitungsquerschnitt besitzen als die vom gleichen Strom durchflossenen vergleichbaren Leitungsquerschnitte. In Kontaktstellen kommt es zu unterschiedlichen Erscheinungen, die die Güte einer Kontaktstelle beeinflussen und Quelle von Erwärmungen sein können. Grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass eine erhöhte Erwärmung eine Fehlerursache zur Grundlage hat. Die Erfahrung der Einsatzjahre zeigt, dass es sinnvoll ist, die Wärmequelle zu ermitteln. Daraus lassen sich genauere Aussagen über den Zustand eines Bauteils ableiten. Stark belastete Anlagen sind durch die Strombelastung höherer Ausfallwahrscheinlichkeit ausgesetzt.

Beispiele für Stromwärmeverluste an Kontaktstellen zeigen die Abbildungen 1 bis 4.



Auch moderne Verbindungstechniken sind vor Übererwärmungen nicht sicher.

Spannungsbedingte Fehlerstellen

Spannungsbedingte Fehlerstellen lassen sich mit Hilfe der Thermovision nur in begrenzten Fällen ermitteln. Ihre Wärmeentwicklung ist meist nur gering. Temperaturänderungen von 0,5 Kelvin können Vorboten ►

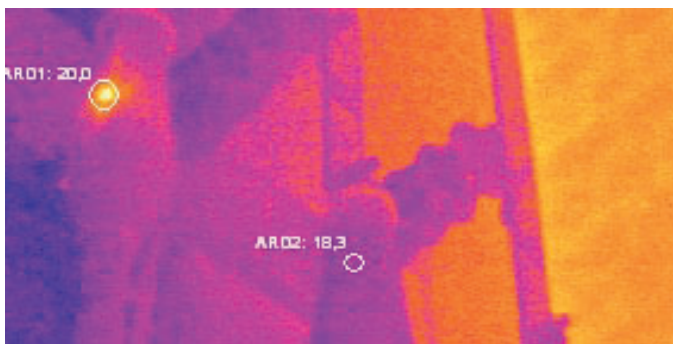
Von oben nach unten:

Abbildung 1:
Presshülse einer
Alu-Stahlschraub-Verbindung.

Abbildung 2:
Schalterkontakte.

Abbildung 3:
Klemm- und Schraubverbindungen –
Rückleiteranschluss an der Schiene.

Abbildung 4:
Zerstörte Varioklemme.



Von oben nach unten:

Abbildung 5:
Erwärmter Kabelendverschluss.

Abbildung 6:
Starke Teilentladungen.

Abbildung 7:
Lichtbogen beim Überfahren einer
Schutzstrecke.

großer Schäden sein. So kann zum Beispiel die Potentialsteuerung an Kabelendverschlüssen zu kleinen Überschlägen (Teilentladungen) führen (Abbildung 5).

An Trockentransformatoren können Isolationsfehler Teilentladungen in der Wicklungsfläche durch Lunkereinschlüsse erzeugen.

Spannungsbedingte Fehlerstellen zeigen die Abbildungen 5 und 6.

In Abbildung 6 sind drei Phasen mit je einer Wanddurchführung zu sehen. Zwischen den beiden unteren Isolatoren fließen Kriechströme.

Thermografie als Diagnoseverfahren zur Beobachtung technischer Vorgänge

Thermografie als Sichtverfahren zur Unterstützung videoteknischer Beobachtung

Die bei der Diagnosegruppe eingesetzte Technik ist in der Lage wie eine Videokamera zu arbeiten. Es können bis zu 30 Bilder je sec aufgezeichnet werden. Der Vorteil der Infrarottechnik gegenüber der Videotechnik besteht auf den strahlungstechnischen grundlegenden Unterschieden. Videokameras zeichnen das reflektierte Licht von beobachteten Gegenständen und Infrarotkameras zeichnen die Eigenstrahlung dieser Gegenstände auf. Umso weniger Licht vorhanden ist, umso schlechter wird es für die Qualität der Videoaufzeichnungen. Sind Lichtquellen mit gleichen Lichtverhältnissen deckungsgleich, bzw. gleiche Temperaturniveaus bei der Thermografie vorhanden, lassen sich die Grenzen der einzelnen Bauteile nicht mehr erkennen. Hier besteht die Möglichkeit zwischen Videoaufzeichnungen und Thermografie Vergleichsmöglichkeiten zu schaffen. Infrarotkameras können auch in der Nacht bei gleichbleibender Wärmequelle Vorgänge mit hoher Qualität aufzeichnen. Bei fest eingestellten Energieniveaus wird durch die IR-Kamera die abgestrahlte Wärmemenge aufgezeichnet. Nachträglich kann für jedes Bild innerhalb des Strahlungsfensters für jeden Bildpunkt der optimale Bereich gewählt werden, so dass technische Vorgänge je nach Bedarf ausgewertet werden können. Gut geeignet ist die Auswertung

des Lichtbogenverhaltens an elektrischen Bauteilen zur Potentialtrennung, Schalter und Trenner in der Oberleitung wurden auf diese Weise auf ihre elektrische Funktionsweise überprüft. Aber auch das mechanische Verhalten zwischen Schiene und Radreifen wurde mit Hilfe der Infrarotmesstechnik untersucht.

In der Abbildung 7 ist das Überfahren einer Schutzstrecke ohne ausgeschalteten Hauptschalter getestet worden. Der helle Lichtbogen hat die Regelautomatik der Kamera in Betrieb gesetzt und das Bild abgedunkelt. Mit den modernen technischen Möglichkeiten der Computerbildbearbeitung lassen sich heute diese Bilder aufwerten. Mit Hilfe der Infrarotmesstechnik können die Lichtbogenendpunkte ermittelt werden. So konnte an Trennern das Wandern des Lichtbogens in das Tragseil bzw. das erneute Durchzünden des Lichtbogens im Ausgangspunkt beobachtet werden. Das Lichtbogenverhalten genau zu analysieren hilft gefährliche Betriebszustände rechtzeitig zu erkennen und Einfluss auf den Bauteileinsatz nehmen zu können. Die Funktionsfähigkeit dieser Betriebsmittel können in extremen Betriebssituationen überprüft werden.

Die Thermografie kann zur Analyse von Schwingungen im Oberleitungsnetz eingesetzt werden. In der Abbildung 10 ist die Schwingung eines befahrenen Kettenwerkes des Hauptgleises mit einem einlaufenden Kettenwerk einer Weiche dargestellt. Die Darstellung zeigt die vorlaufende Welle und ihr Einfluss auf die Kettenwerksbewegung des einlaufenden Fahrdrabtes.

Materialprüfung mit Hilfe der Thermografie

Die Materialprüfung mit Hilfe der Thermografie beruht auf der Möglichkeit des Wärmetransportes in Materialoberflächen. Dabei werden die Verhältnisse von Einleitung der Wärme zur

Rückantwort beurteilt. Auf diese Weise können Materialien in Oberflächennähe ohne Materialzerstörung auf Gefügeänderungen bzw. Materialverbindungen untersucht werden.

Technische Sichtprüfung als Diagnoseverfahren

Endoskopie bzw. Videoskopie

Seit 1990 wird die Videoskopie (Endoskopie) zur Sichtprüfung in Maschinen und Anlagen eingesetzt. Zum Einssatz kommt ein Videoskop mit 3,5 m Länge und 8 mm Durchmesser. Das Videoskop integriert einen Kamerachip im Kopfteil des Gerätes mit Lichtleitern zur Beleuchtung von Hohlräumen. Die Aufzeichnung der Sichtprüfung erfolgt auf der Basis der Videotechnik. Die Videoskopie hat gegenüber der klassischen Endoskopie den Vorteil, mit hoher Qualität das beobachtete Bauteil stark vergrößert auf einem Bildschirm für viele Betrachter gleichzeitig zu präsentieren.

Das Haupteinsatzgebiet der Videoskopie bei der Diagnosegruppe sind Sicherheitsüberprüfungen für die Umformer im dezentralen und zentralen Bahnstromnetz der DB Energie. Die Umformer werden zyklisch zur Revision zu den Herstellerfirmen geschickt, um Verschleißteile auszuwechseln. Der Transport und die Revisionen der Umformer sind mit hohen Kosten verbunden. Diese Revisionszyklen konnten auf Grund der durchgeführten Diagnoseleistungen um ca. 30 % verlängert werden. Mit Hilfe der Videoskopie werden beanspruchte Bauteile im Inneren des Umformers d.h. an verdeckten Stellen einer Sichtkontrolle unterzogen. Ausschlaggebend für die Einführung der Videoskopie an dezentralen Bahnnumformern war das häufige Auftreten von Rissbildungen an Hammerköpfen der Polbefestigungen. Besteht ein Rissverdacht an ei-

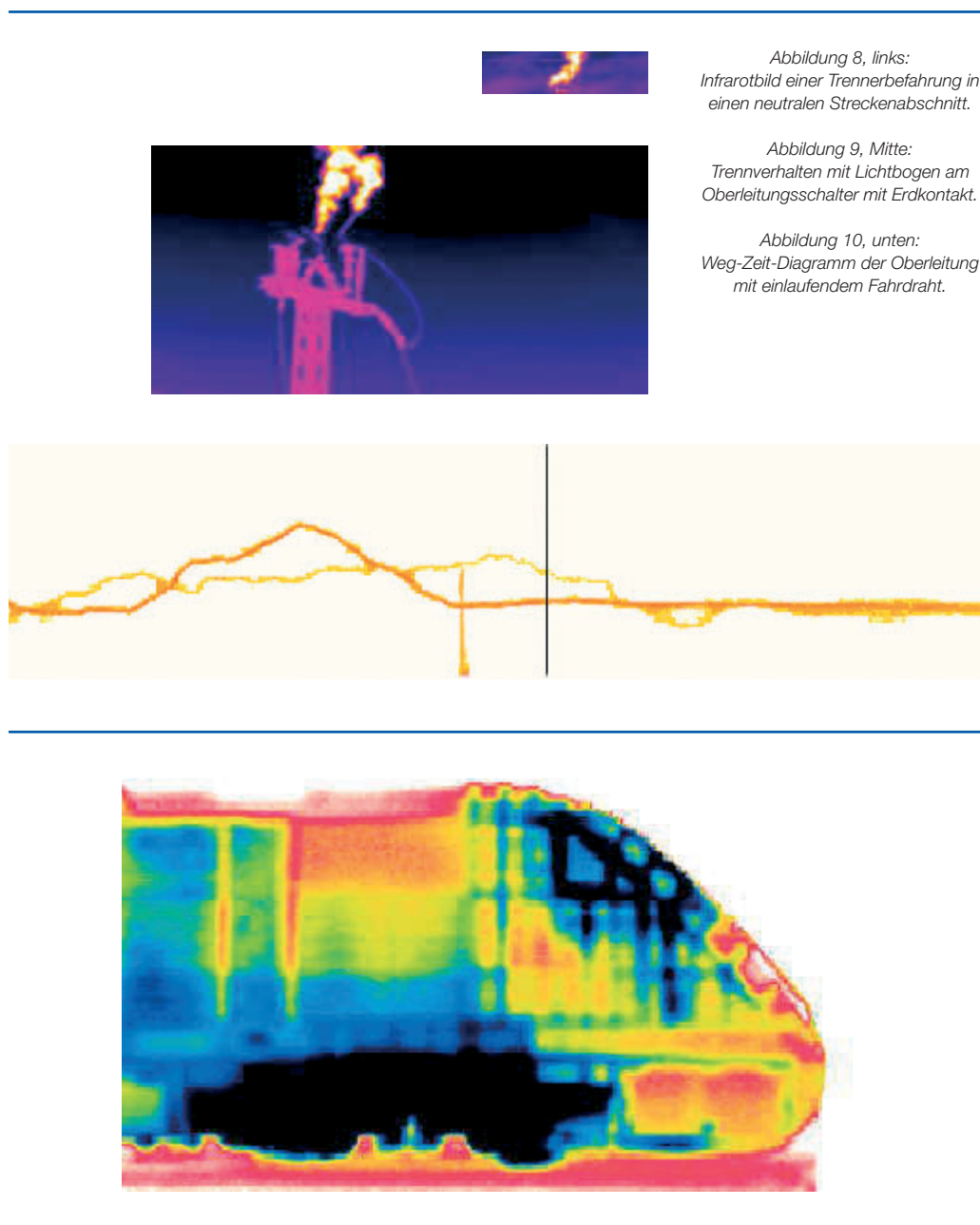


Abbildung 8, links: Infrarotbild einer Trennerbefahrung in einen neutralen Streckenabschnitt.

Abbildung 9, Mitte: Trennverhalten mit Lichtbogen am Oberleitungsschalter mit Erdkontakt.

Abbildung 10, unten: Weg-Zeit-Diagramm der Oberleitung mit einlaufendem Fahrdrabt.

nem Hammerkopf, so wird dieser mit Hilfe der Magnetpulverstreifungsprüfung untersucht. Dabei wird das Bauteil magnetisiert, mit fluoreszierendem Magnetpulver besprüht und anschließend mit Hilfe einer UV-Lichtquelle untersucht. Sammelt sich das Magnetpulver entlang des Risses, so ist dies als gelbe Rissanzeige gut sichtbar. Mit dem Risstiefenmessgerät RMG4015 kann anschließend die Risstiefe ermittelt werden. Damit ist ein zusätzlicher Nachweis für das Vorhandensein eines Risses gegeben. Sind nach Abschluss der Untersuchungen mit der Endoskopie

und den Schwingungsmessungen am Umformer keine Befunde festzustellen, so kann der Revisionszyklus innerhalb der Betriebsstunden gespreizt werden.

Der Einsatz der Videoskopie ist an allen Stellen sinnvoll, deren Zugang es nicht zulässt auf Grund des Platzes oder konstruktiver Eigenschaften einen direkten Einblick zu gewähren. Beobachtung in der Nähe des Lichtraumprofils von Fahrzeugen, das Zusammenspiel von Bauteilen in Hohlräumen usw. können mit dieser Technik sehr einfach realisiert werden. ►

Abbildung 11: Thermisches Abbild eines ICE Triebkopfes.

Abbildung 12:
Videoskop.



Abbildung 13:
Geöffneter Bahnnumformer
nach Feststellen von
Schäden in den
Polbefestigungen.



Dabei sind Vergrößerungen der beobachteten Stellen und eine gute Beurteilung von Oberflächen möglich.

Welcher Nutzen ergibt sich aus dem Einsatz von Diagnoseverfahren?

Die Notwendigkeit schutztechnischer Überprüfungen an ortsveränderlichen Anlagen braucht nicht diskutiert werden. In Großbritannien und Frankreich ist die Thermografie eine von den Anlagenversicherern geforderte Maßnahme zum Betreiben elektrotechnischer Anlagen. Die Notwendigkeit Instandhaltungsmaßnahmen durchzuführen, ist seit dem Betreiben elektrotechnischer Anlagen Stand technischer Forderungen. Jeder Hersteller von Bauteilen einzelner Betriebsmittel (z.B. Trockentrafos) schreibt in der Betriebsanleitung turnusmäßige Wartungen und Sicherheitsanforderungen vor. Personalmangel führt dazu, dass diese Forderungen nicht eingehalten werden. Die Diagnose mit technischen Hilfsmitteln, wie z.B. der Thermovision, ermöglicht den Aufwand für Instandhaltungsleistungen wesentlich zu minimieren und trotzdem hohe Betriebssicherheit zu gewährleisten. Die Thermovision bietet den Vorteil, als berührungsloses Messverfahren ohne Unterbrechung des Betriebes Diagnose für eine gezielte Instandsetzungsarbeit einzusetzen, statt Instandhaltung nach Zyklen auszuführen. Es werden dem Betreiber durch die Aussagen der Messergebnisse an Hand von Bewertungsgruppen Handlungshinweise gegeben, die zur Erhöhung der Anlagensicherheit beitragen. Diese von der Diagnosegruppe festgelegten Bewertungsgruppen legen die Dringlichkeit der Reparaturen fest. Die Erfahrungen aus den Einsatzjahren zeigen Fehlerschwerpunkte, die besonders in Gleichstromkreisen bedingt durch die elektroly-

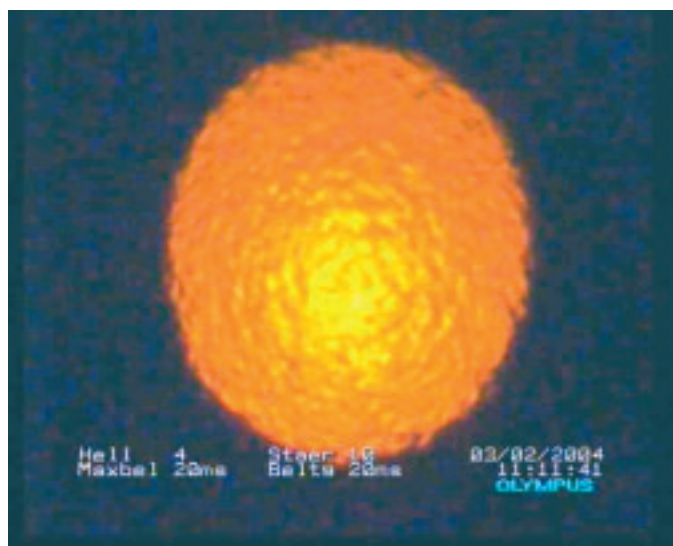
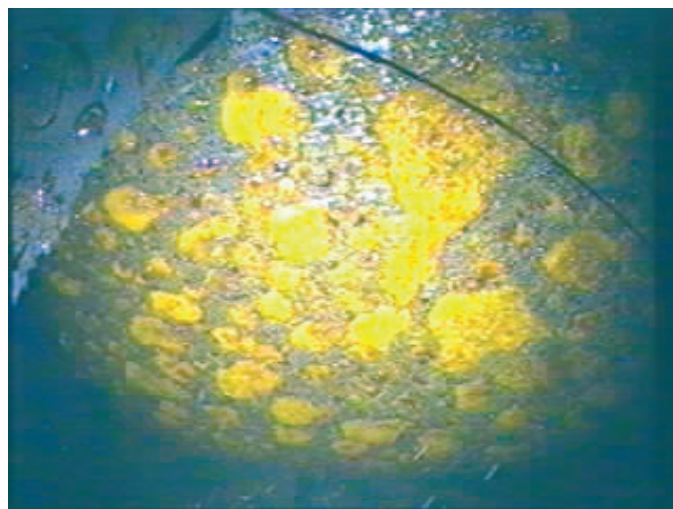
tische Korrosion, in Außenanlagen mit hohen Umwelteinflüssen, fehlerhafte Installationen und in Altanlagen durch Materialermüdungen und Verschmutzungen liegen. Eine Abstufung ist aus dem Belastungsverhältnis Durchschnittslast zu Nennlast zu erkennen.

Wie Diagnose wirkt und wann Nutzen und Notwendigkeit zu einer sinnvollen Einheit werden, zeigen die Auswirkungen von nicht rechtzeitig erkannten Fehlerstellen. Dabei sind die Ausfälle mit reinem Sachschaden noch die harmlosen Ereignisse. Ausfälle mit Personenschäden können nicht ausgeschlossen werden. Die Kosten, die durch das Verhindern von Störungen und Ausfällen vermieden werden, lassen sich nur schätzen, weil der Störungsumfang unbekannt bleibt.

Ein hoher Nutzen der Diagnose ist die Erhöhung der Anlagensicherheit und die Darstellung des momentanen Anlagenzustandes. Die Instandhaltung wird optimiert und nur an auffälligen Bauteilen durchgeführt.

Eine Nutzenrechnung wird einfacher, wenn man mit der technischen Diagnose Instandhaltungsleistungen vergleicht, die unnötig betrieben würden an Stellen, wo keine Anlagenschwächung vorliegt und trotzdem mit hoher Anlagensicherheit operiert werden soll. Dann kann ein Nutzeffekt errechnet werden. Zum Beispiel kann für die Ermittlung des Anlagenzustandes mit der Thermografie an einem Oberleitungsmasttrennschalter mit allen Klemmstellen bis in die Fahrdrähte ein Zeitaufwand für die Diagnose von durchschnittlich 2 Arbeitsstunden inklusive der Anfahrten kalkuliert werden. Vergleichsweise Instandhaltungsarbeiten für diese Schalter und der einschließenden Klemmverbindungen bis zum Fahrdraht benötigt ein mehrfaches Zeitvolumen.

Qualitätsgerecht durchgeführte Diagnoseleistungen beinhaltet die Ermittlung von Anlagenei-



genschaften im bestehenden momentanen Umfeld und der beeinflussenden Kenngrößen. Es reicht zum Beispiel nicht aus nur die Temperatur eines Bauteils zu bestimmen, um eine vollständige Lebensdauerausage zu erhalten. Es empfiehlt sich weitere Diagnoseleistungen einzusetzen, um zusätzliche Kriterien der Anlagenbeanspruchung zu ermitteln, z.B. Isolationsmessungen oder Teilentladungsmessungen. ■

Von oben nach unten:

Abbildung 14:
Rissdarstellung an einer
Polbefestigungsplatte.

Abbildung 15:
Größendarstellung eines
Diodenlichtpunktes mit dem
Videoskop.

PROFIL ZEIGEN!



SICHER ARBEITEN — ES LOHNT ZU LEBEN

EUK

Eisenbahn-Unfallkasse