



ew

8-9
10. April
2012

das magazin für die energie wirtschaft

ENERGIEWIRTSCHAFT

Kapitalbedarf und
Geschäftsprozesse
fordern Stadtwerke

AUS-/WEITERBILDUNG

Energiewende:
Auswirkungen auf das
Qualifikationsprofil

ASSETMANAGEMENT

Klassifizierung von
Versorgungsaufgaben

VERTRIEB/MARKETING

Aktuelle **Marktdaten**
flächendeckend
verfügbar

dossier

HANNOVER MESSE

Energiemix der Zukunft,
Elektromobilität,
Zertifizierung,
Instandhaltung,
Transformatoren
Mess-/Zählwesen

www.ew-online.de



RelayLabTest

Simulationsbasierte Typ- und
Akzeptanzprüfungen von Schutzgeräten

Defekte auch bei widrigen Bedingungen aufspüren

Kabelfehlerortung auf hohem Niveau

Wenn die Beschaffenheit der Wege oder Wind und Wetter den normalen Einsatz der Messtechnik verhindern, ist Improvisation angesagt – und das richtige Equipment. Die Kabelfehlerortung an einem Mittelspannungskabel des Wasserkraftwerks Robiei in der Tessiner Bergwelt war so ein Fall, den das Schweizer Dienstleistungs- und Handelsunternehmen Gasenzer AG diesen Winter zu meistern hatte.

Januar 2012: Das Russland-Tief hat auch den Schweizer Kanton Tessin im Griff. Temperaturen bis zu $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ und Schneefälle haben das milde Wetter abgelöst, das noch um den Jahreswechsel herrschte. Auch am 26. Januar 2012 ist es draußen klirrend kalt, als der Wecker von *Willi Bohler* klingelt. Es ist erst fünf Uhr. Der Messtechniker springt aus dem Bett, denn ein besonderer Einsatz steht auf dem Programm: Die-

ses Mal geht es mit dem Hubschrauber zur Arbeit, und im Morgengrauen soll der Flug schon starten. Am Wasserkraftwerk Robiei hat ein Mittelspannungskabel seinen Dienst versagt. Bereits zwei Tage zuvor hatten die Mitarbeiter der Maggia Kraftwerke AG den Ausfall gemeldet. Doch bislang vereitelte das Wetter die Fehlersuche. Heute aber sollen die Schneefälle nachlassen, so dass der Helikopter den Techniker auf den Berg fliegen kann.

Wasserkraftwerk Robiei

Das Kraftwerk Robiei ist eine von sechs Anlagen, die von den Maggia Kraftwerken als Wasser- oder Pumpspeicherkraftwerke betrieben werden. Das Unternehmen liefert jährlich rd. 1.265 GWh Strom mit dem Anlagenpark, der sich über rd. 60 km zwischen dem Speicherbecken Gries im Oberwallis bis zum Kraftwerk Verbano am Langensee erstreckt. Dabei wird ein Höhenunterschied von rd. 2.200 m ausge-



Bild 1. Mit der Seilbahn auf dem Weg zur Arbeit: Der Kabelmesswagen soll an der Schaltstation des Kraftwerks Robiei zum Einsatz kommen, um die einwandfreie Reparatur eines 16-kV-Kabels zu bestätigen

Ralf Dunker, Journalist, München.

nutzt. Neben der Kraftwerkstechnik und den Umspannanlagen gehören 35 Wasserfassungen, acht Staubecken sowie rd. 140 km Stollen und Druckleitungen zum System. Durch die Stollen wird nicht nur Wasser geleitet, sondern über 16-kV-Mittelspannungskabel auch Strom zur Eigenversorgung der Anlagen bereitgestellt. Robiei gehört zu den oberen Anlagen der Maggia Kraftwerke, die das im Gebirge anfallende Wasser in einem 70 km² großen Gebiet sammeln und drei Kraftwerken zur Stromerzeugung zuführen.

Fehlerortung

Das defekte Kabel führt durch einen Stollen zwischen dem Bedretto-Tal und dem Maggia-Tal. Dieser ist 3 m im Durchmesser und mehrere Kilometer lang. Den größten Teil der Strecke führt er Wasser, das meistens bis zur halben Stollenhöhe reicht. Hier den Fehler im Vorfeld exakt zu lokalisieren ist besonders wichtig, denn je nach Lage muss die Reparatur vollkommen anders erfolgen: Liegt der Fehler im trockenen Teil, ist eine konventionelle Reparatur angebracht, im wasserführenden Teil hingegen müssen individuell angefertigte Muffen eingesetzt und der Stollen zur Reparatur entleert werden.

Zur Fehlersuche müsste Messtechniker *W. Bohler* eigentlich nicht mit dem Hubschrauber gebracht werden, aber die Straße zur Seilbahn im Bedretto-Tal ist unpassierbar und »bei 2 m Schneedecke steht auch der Lastenlift nicht bereit«, berichtet er. Die Seilbahn, die anlässlich des Kraftwerkneubaus in den 1960er Jahren ihren Betrieb aufnahm, hätte den Techniker und seine Ausrüstung mühelos tragen können, denn sie ist auf 20 t Last ausgelegt. »Jetzt geht's stattdessen mit dem Heli auf den Berg.« Der Pilot muss einen Punkt in rd. 2 000 m Höhe anfliegen, damit er *W. Bohler*, Mitarbeiter der Maggia Kraftwerke und die Gerätschaften am Stolleneingang absetzen kann: Zum Einsatz kommen das Impulsreflexionsmessgerät IRG 2000, ein Stoßspannungsgenerator, ein Brenntransformator und das Gerät »Shirla« zur Mantelprüfung und Fehlerortung, alles Geräte der Baur Prüf- und Messtechnik GmbH, Sulz/Österreich. Außerdem stellt der Kunde einen Notstromgenerator mit 3,5 kVA zur Verfügung.

Kabelfehlerortung nach Ausschlussmethode

Zeit ist Geld – auch bei der Fehlerortung in Nieder-, Mittel- und Hochspannungskabeln. Systematisches Vorgehen ermöglicht es, den Fehler schnell und zuverlässig einzugrenzen und die Vorortung mit hoher Genauigkeit vorzunehmen. Das spart Zeit bei der Nachortung und verkürzt die Dauer des Ausfalls. Hilfreich ist dabei, den Kabeltyp, seine Lage und die Lage der Muffen, die Art der Verlegung (ingesandet, im Wasser usw.) und Ereignisse – etwa kürzlich durchgeführte Bauarbeiten in Kabelnähe – zu kennen und dieses Hintergrundwissen bei der Messung einzubringen.

Zu den häufigsten Fehlern gehören Kurzschlüsse, Erdschlüsse bzw. Erdkurzschlüsse, Unterbrechung der Leiter, Mantelfehler oder – was oft die am schwierigsten zu detektierenden Defekte sind – intermittierende Fehler. Letztere treten nur bei bestimmten (Last-)Situationen auf, etwa aufgrund der Austrocknung ölisolierter Papier-Masse-Kabel oder der Bildung gelegentlicher Teilentladungen an Muffen.

Für eine kurze Fehlersuche ist es ratsam, nach den Vorsichts- und Erdungsmaßnahmen (siehe auch Regeln der DIN VDE 0105) mit den Messungen zu beginnen, die erfahrungsgemäß bei den meisten Fehlern ein erfolgreiches Eingrenzen oder Lokalisieren ermöglichen.

Zunächst empfiehlt es sich, den **Isolationswiderstand** des Kabels für alle Phasen zu ermitteln. Daraus ergibt sich, ob ein niederohmiger oder ein hochohmiger Fehler vorliegt und welche Phase den Defekt aufweist. Aus diesen Ergebnissen folgt das weitere Vorgehen.

Die mit niedrigen Spannungsimpulsen durchgeführte **Echometrie** (Impulse Reflection Method oder TDR) gibt Aufschluss über die Länge bis zum Ende oder einer Unterbrechung (positive Reflexion) oder bis zu einem Kurzschluss (negative Reflexion) und ermöglicht die Darstellung niederohmiger Fehler im Echogramm.

Hochohmige Fehler werden mit der **SIM/MIM-Methode** (Secondary Impulse Method, Multiple Impulse Method) sichtbar gemacht. Hierbei wird die hochohmige Fehlerstelle durch einen Hochspannungsimpuls »gezündet« und somit kurzzeitig niederohmig. So kann die Entfernung zur Fehlerstelle bestimmt werden. Diese wird von der Gerätesoftware ausgewertet und angezeigt. Die SIM/MIM-Methode ist besonders vorteilhaft, da sie in bis zu 98 % der Fälle eine Vorortung des Fehlers ermöglicht.

Bei besonders langen Kabeln führt die **Stoßstrommethode** (Impuls Current Method, ICM) zum Erfolg. Hier provoziert der Hochspannungsgenerator an der Fehlerstelle einen Durchschlag. Die Laufzeit des Impulses bis zum Kabelende liefert Rückschluss auf den Fehlerort. Ergänzend kann die Differenzstoßstrommethode (DICM) zur Anwendung kommen, bei der zwei Kabeladern im Differenzverfahren gemessen werden. Die DICM ist sinnvoll bei Kabeln über 10 km Länge, bei verzweigten Netzen (mit T-Stücken) und bei Freileitungen.

Intermittierende Kabelfehler können mit der **Ausschwingmethode** (Decay Method) oder der Differenzausschwingmethode ermittelt werden. Hierbei wird der Fehler mit einer Hochspannungsquelle gezündet und die daraus resultierende Wanderwelle mit dem Echometer aufgezeichnet, was Rückschlüsse auf die Entfernung ermöglicht. Ergänzend steht die Differenzausschwingmethode zur Wahl.

Kabelmantelfehler können mit einer Gleichstromquelle und einer **Messbrücke** (Anordnung nach Murray oder Glaser) detektiert werden. Aus dem Verhältnis der Brückenwiderstände lässt sich die Entfernung der Fehlerstelle bestimmen.

Besonders »hartnäckigen«, hochohmigen Fehlern lässt sich mit Brenntransformatoren wirkungsvoll begegnen. Hierbei wird durch das **Brennen** (Burn Down Method) der Fehlerstelle der hochohmige Fehler in einen niederohmigen gewandelt, was das Durchführen einer leicht zu interpretierenden Echometrie ermöglicht.

Wird von den zuvor beschriebenen Verfahren, wenn sinnvoll, die SIM/MIM-Methode zuerst angewendet, ist die Fehlerortung meistens Minuten nach Beginn der Suche beendet. Die Nachortung mit der Schallfehlerortung, der Schrittspannungsmethode oder der Drallfeldortung ermöglicht die Lokalisation des Fehlers auf 1 bis 2 m genau – oft sogar noch genauer –, was unnötige Erd- oder Straßenarbeiten vermeidet und die Reparaturkosten sowie -dauer minimiert.

Methoden der Fehlerortung

Methoden	Anwendbar für diese Fehlercharakteristika
Echometrie (Impulse Reflection Method, TDR)	niederohmige Fehler (Bestimmung von Kabelende, Kabelabschnitt, Lokalisation einer Muffe mit Impedanzänderung)
Secondary Impulse Method/ Multiple Impulse Method (SIM/MIM)	hochohmige Fehler, intermittierende Fehler
Stoßstrommethode (Impulse Current Method, ICM)	hochohmige Fehler, intermittierende Fehler (bei langen Kabeln)
Ausschwingmethode (Decay Method)	intermittierende Fehler
Brennen (Burn Down Method – zur Veränderung der Fehlercharakteristik)	hochohmige Fehler, nasse Kabelmuffen
Brückenmessung	hochohmige Fehler, niederohmige Fehler, Mantelfehler

Kurz nach Sonnenaufgang setzt der Hubschrauberpilot die Männer und Geräte am Stolleneingang ab. *W. Bohler* steht zunächst vor einem Berg Schnee, der den Eingang zum Stollen größtenteils verdeckt. Nachdem die Mitarbeiter der Maggia Kraftwerke den Zugang zum Stollen freigeschaufelt haben, beginnt er mit den Erdungs- und Vorsichtsmaßnahmen, erst dann schließt er die Gerätschaften an. Seine Hardware lässt alle Möglichkeiten offen,

damit kein weiterer Hubschrauberflug nötig wird. Von der Mantelprüfung über die Widerstands- bzw. Durchgangsmessung sowie die SIM/MIM-Messung bis hin zum Einbrennen einer Fehlerstelle, damit aus einem hochohmigen Fehler ein leicht zu lokalisierender niederohmiger wird, kann *W. Bohler* alles mit seiner Ausrüstung erledigen. So sollte die Fehlersuche gelingen – es ist nur eine Frage der Zeit.

Fehlerortungssystem

Das Syscompact 2000 der Baur Prüf- und Messtechnik ist ein kompaktes, vollständig gekapseltes Fehlerortungssystem für die Vor- und Nachortung von hochohmigen, niederohmigen und intermittierenden Fehlern an Nieder- und Mittelspannungskabeln. Es ist leicht zu bedienen und ermöglicht so eine schnelle und sichere Fehlerortung. Die Einheit kann mit unterschiedlich leistungsstarken Stoßspannungsgeneratoren bestückt werden. Durch seine kompakte Bauweise ist das System leicht zu transportieren. Es ist als Version für den Einbau in Kleintransporter erhältlich und als mobiles Gerät, das sich durch seine großen Räder auch bei unwegsamem Gelände leicht zum Einsatzort fahren lässt.



Wichtige Merkmale des Systems sind:

- Ortung von niederohmigen, hochohmigen und intermittierenden Kabelfehlern
- effiziente Kabelfehler-Vorortungsmethoden
- Nachortung nach der Schallortungsmethode oder Schalllaufzeitmessung (mit Universal Locator und Bodenmikrophon)
- Mantelfehlerortung nach der Schrittspannungsmethode (mit Universal Locator und zwei Messsonden)
- einfache Handhabung
- modulares System, leicht erweiterbar für Kabelprüfung und Diagnose

Um keine Minute zu verschwenden, beginnt *W. Bohler* direkt nach dem Erden mit der Widerstandsprüfung und greift als nächstes zum Baur IRG 2000, einem Impulsreflexionsmessgerät mit kompakten Abmessungen. Die Messung mit dem Handgerät liefert bereits ein erstes Resultat: Laut Messung ist das Kabel nicht wie erwartet rd. 4 200 m, sondern nur 800 m lang, und das auf allen drei Phasen – also ein eindeutiger Bruch aller drei Leiter. In 800 m Entfernung, im begehbaren und trockenen Teil des Stollens, soll sich laut Netzplan eine Muffe befinden. Jetzt wird ein Stoßgenerator angeschlossen und der gelernte Netzelektriker führt die Fehlernachortung im Bereich der Muffe durch. Der Überschlag an der Fehlerstelle ist eindeutig hörbar.

Ersatz der defekten Muffe

Der Fehler war also schnell gefunden. Ein Serviceteam muss die defekte Muffe ersetzen. Wenige Tage später wird dazu die kaputte Stelle entfernt, ein 15 m langes Kabelstück eingesetzt und dieses mit zwei neuen Muffen mit den alten Kabelstücken verbunden. Da in den Beiläufen des Kabels Lichtwellenleiter mitlaufen, müssen auch diese neu verbunden werden. Dazu werden externe LWL-Muffen eingesetzt.

Anfang Februar 2012 kann die abschließende Kabelprüfung von der Gegenseite im Maggia-Tal stattfinden, um die erfolgreiche Reparatur zu bestätigen. An diesem Tag fällt der Transport entschieden leichter. *W. Bohler* reist mit dem Kabelmesswagen an. Dieses Mal kann das Equipment mit der Lastenseilbahn ab San Carlo zum Kraftwerk Robiei befördert werden. Somit steht die komplette Messtechnik im Fahrzeug bereit (Bild 1). Sicherheitshalber misst *W. Bohler* von der Gegenseite aus das Kabel mit dem Impulsreflexionsmessgerät IRG 2000 durch, um weitere Unterbrüche auszuschließen. Eine VLF-Kabelprüfung (Very Low Frequency) mit 0,1 Hz mit dem Baur-Gerät »Viola« bestätigt: Nun ist die Strecke wieder intakt, die Reparatur wurde erfolgreich ausgeführt

(41496)

info@baur.at

www.baur-germany.de