Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 98 (2007)
Heft: 17

Artikel: Leitererwärmung im Hochspannungsübertragungsnetz
Autor: Bertsch, Joachim / Biedenbach, Gerhard / Bucher, Mark
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-857470

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

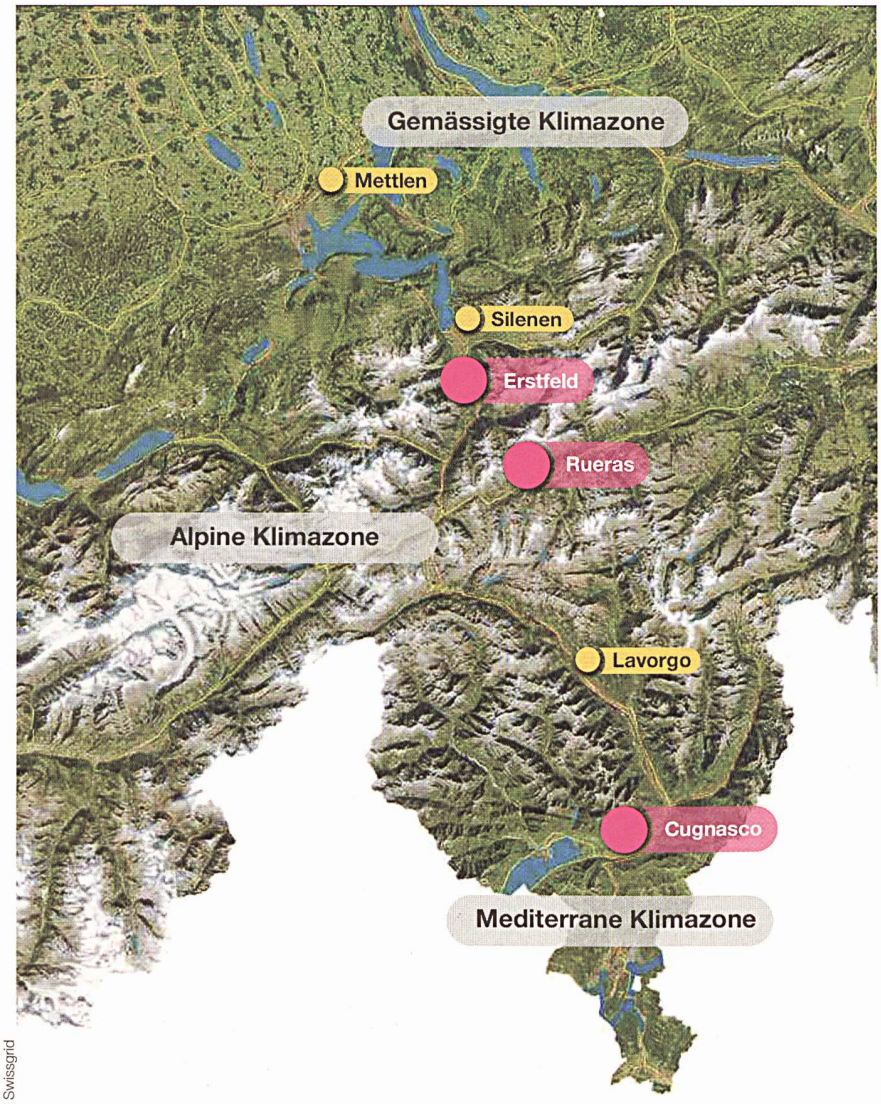
Download PDF: 01.07.2025

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

Leitererwärmung im Hochspannungsübertragungsnetz

Erkenntnisse aus Messungen an der Lukmanierleitung

Infolge der zentralen Lage der Schweiz innerhalb des westeuropäischen Verbundnetzes kommt es auf den Übertragungsleitungen der Nord-Süd-Korridore zu erheblichen Transitflüssen zwischen Deutschland und Italien. Dadurch werden einige Freileitungen stark belastet. Durch die spezielle geografische Lage der Schweiz bestehen innerhalb der Schweiz neben einer gemässigten auch eine alpine und eine mediterrane Klimazone. Diese Klimazonen werden von den Nord-Süd-Leitungstrassen oft zwischen nur zwei Schaltanlagen durchquert.



Swissgrid

Bild 1 Messpunkte und Klimazonen.

Der Betrieb des Hochspannungsübertragungsnetzes wird immer komplexer, und die Zahl der beteiligten Akteure nimmt wegen der Liberalisierung und des Unbundlings fortwährend zu. Als Folge davon sind grosse Lastflussänderungen innerhalb kurzer Zeitspannen keine Seltenheit, wie

Joachim Bertsch, Gerhard Biedenbach, Mark Bucher, Volker Hinrichsen, Philippe Rothermann, Walter Sattinger, Urs Steinegger, Renata Teminova, Martin Weibel

ein Beispiel vom März 2005 zeigt: Innerhalb weniger Stunden änderte sich der Gesamtlastfluss für die Schweiz von 3000 MW Import auf 2000 MW Export.

Im September 2003 startete die Atel Netz AG in Zusammenarbeit mit der Etrans AG (heute Swissgrid AG) ein Pilotprojekt, um die Belastungsverhältnisse des Nord-Süd-Korridors zu untersuchen. Ausgewählt wurde die 380-kV-Leitung Lavorgo–Mettlen (Lukmanierleitung), siehe Tabelle I. Sie verläuft in Nord-Süd-Richtung und durchquert auf 105 km Länge drei Klimazonen, von der Zentralschweiz ausgehend über den Alpenhauptkamm bis ins Tessin (Bild 1). Auf ihr wurden die verschiedenen Technologien zur Echtzeitüberwachung der Leiterseiltemperatur eingebaut und getestet. Neben der Funktionalität und Handhabung der einzelnen Systeme interessierte vor allem der Vergleich der verschiedenen Messmethoden. Die ermittelten Daten erlauben eine Aussage über die Auswirkung der verschiedenen meteorologischen Einflüsse auf die Seiltemperatur – und damit auf den Durchhang – sowie über den unterschiedlichen Einfluss der drei verschiedenen Klimazonen. Die Resultate des Feldversuchs werden als Grundlage für zukünftige Entscheide verwendet, um gegebenenfalls dauerhafte Überwachungen zu installieren und somit

Material	Aldrey (AlSiMg-Legierung)
Leiterquerschnitt	2×550 mm²
Anzahl Leiteradern × Ø [mm]	91×Ø 2,77 mm
Leiterdurchmesser	30,5 mm
Gewicht (Annäherung)	1534 kg/km

Tabelle I Leiterseildaten.

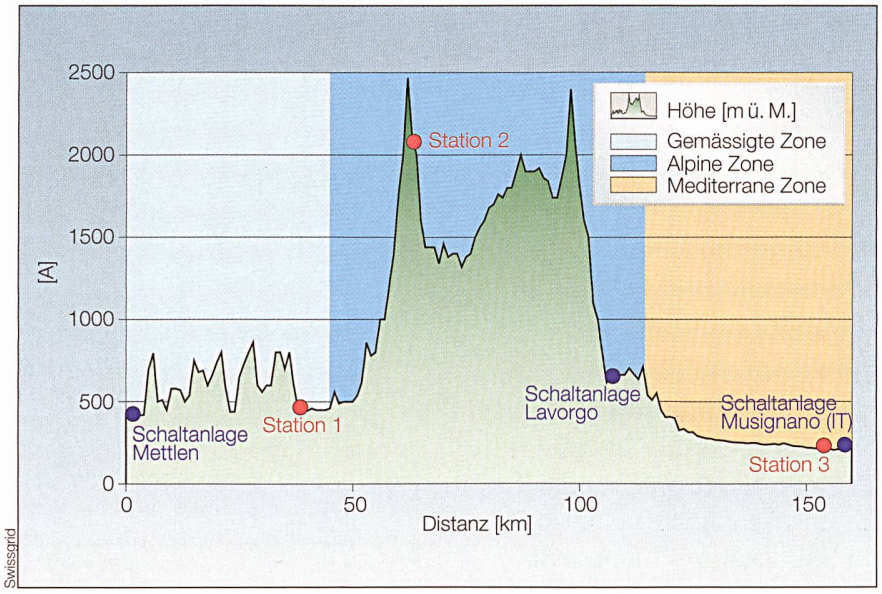


Bild 2 Längenprofil der Lukmanierleitung.
Die Lukmanierleitung wurde in den Jahren 1948/49 von Atel gebaut. Im Abschnitt Mettlen (LU)–Silenen (UR) wurde die 380-kV-Leitung zweisträngig, im Abschnitt Silenen–Lavorgo (TI) einsträngig realisiert. Der maximal zulässige Dauerstrom für die Leiterseile beträgt 1830 A im Sommer und 2400 A im Winter.

einen Beitrag zur Erhöhung der Versorgungssicherheit zu leisten.

Bei den Versuchen wurden direkte und indirekte Leiterseiltemperaturmessungen von verschiedenen Messsystemen untereinander verglichen und Korrelationen mit Leitungsstrom und meteorologischen Daten gesucht. Folgende Messungen wurden gleichzeitig durchgeführt:

- Clearance Assurance of Transmission Lines (CAT-1): kombinierte Messung von Zugkraft, Solarstrahlung und Umgebungstemperatur.
- Funkabfragbare Oberflächenwellen-Sensoren (FOFW-Sensoren): eine neue Anwendung, die an der TU Darmstadt entwickelt wurde.
- Wide-Area-Monitoring-Leiterseiltemperaturmessung (WAM/LTM): basierend auf exakten Messungen der Wirkleistungsverluste [4, 5].

Zusätzlich wurde eine Thermovisionskamera eingesetzt, welche die Spektralbilder in Temperaturen umwandelt. Sie wurde zur Kalibrierung und Verifizierung der Messsysteme verwendet und stand nicht im Dauereinsatz. Zeitweise wurden in einigen Abschnitten auch direkte Durchhangsmessungen durchgeführt. Dazu wurden eine Radar- und eine Lasermessung eingesetzt. Neben den Messungen, die direkt auf das Leiterseil fokussiert waren, wurden meteorologische Messungen durchgeführt, damit der Einfluss des Wetters auf die Leiterseiltemperatur untersucht werden konnte.

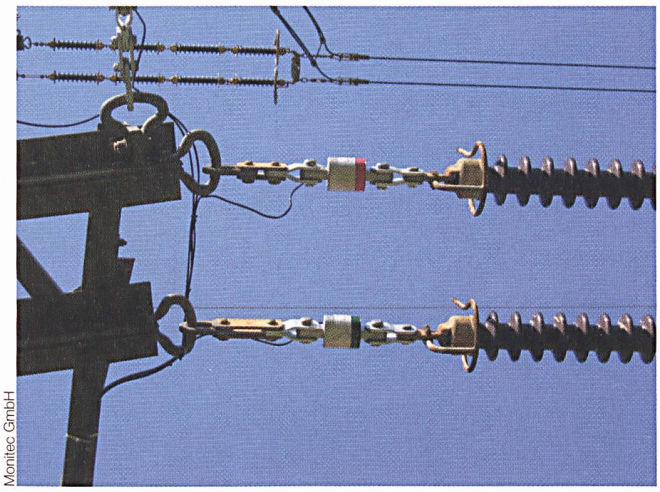
In jeder der drei Klimazonen wurde eine Messstation[1)] eingerichtet, um die Einflüsse der Klimazonen in den Auswertungen sichtbar zu machen (Bild 2). Die erste Station wurde in Erstfeld (490 m ü. M., gemässigtes Klima) eingerichtet, die zweite in Rueras auf der Alp Caschlé (2130 m ü. M., alpines Klima) und die dritte in Cugnasco (190 m ü. M., mediterranes Klima). Die Messdaten der 3 Stationen wurden in einer 10-Minuten-Auflösung gespeichert und in einem konstanten Rhythmus über GSM-Modem abgefragt.

Die einzelnen Stationen wurden schrittweise in Betrieb genommen und mit den Messeinrichtungen ausgerüstet, angefangen in Erstfeld, dann Rueras im Sommer 2003, und im Herbst 2005 wurde die Station in Cugnasco aufgebaut. Die Station in Rueras wurde im Frühling 2007 noch mit dem FOFW-System ausgerüstet.

Übersicht über die Messsysteme und -methoden

Das CAT-System

Drei CAT-1-Messanlagen wurden an ausgewählten Masten der Lukmanierleitung eingebaut. Jedes der Messsysteme besteht aus vier Kraftmesszellen, einem Umgebungstemperaturfühler, einem Nettostrah-



Monitec GmbH

Bild 3 Die Kraftmesszellen werden zwischen den Isolatoren und den Abspannmasten eingebaut.

lungssensor, der Zentraleinheit mit der Betriebssoftware und dem GSM-Kommunikationsmodul sowie einem Solarpanel zur Energieversorgung der kompletten Anlage.

Die Kraftmesszellen wurden zwischen den Abspannisolatoren und den Traversen der Freileitungsmaste eingebaut (Bild 3). Pro Abspannmast können gleichzeitig zwei Abspannabschnitte überwacht werden. Der Nettostrahlungssensor besteht aus einem Aluminiumzylinder mit integriertem Temperaturfühler, der ungefähr den gleichen Durchmesser und den gleichen Absorbtionskoeffizienten wie das Leiterseil besitzt. Dadurch besitzt er bezüglich seines Temperaturverhaltens die gleiche Zeitkonstante wie das Leiterseil selbst und dient als Modell für das Seil ohne Stromdurchfluss [1].

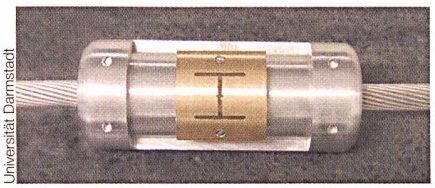
Jeder durch CAT-1 überwachte Abspannabschnitt musste kalibriert werden. Dadurch wurde messtechnisch der Zusammenhang zwischen der Zugkraft im betroffenen Abschnitt und der mittleren Seiltemperatur ermittelt. Mithilfe der einmal gewonnenen Kalibrierkurve lässt sich dann die Seiltemperatur aus den gemessenen Zugkräften mit hoher Genauigkeit ermitteln.

Die gespeicherten Messwerte lassen sich telefonisch mittels GSM auslesen und weiterverarbeiten.

Das FOFW-System

Wesentliche Vorteile der passiven FOFW-Sensoren gegenüber herkömmlichen Messaufnehmern oder Sensoren sind ihre völlig passive Wirkungsweise, die einen Betrieb ohne eigene Energieversorgung ermöglicht, sowie die drahtlose Hochfrequenz-Messsignalübertragung über Entfernungen von bis zu etwa 15 m auch durch (nicht metallische) Gehäuse hindurch. Diese Eigenschaften prädestinieren FOFW-Sensoren ganz besonders für den Einsatz in Hochspannungsbetriebsmitteln der elektrischen Energieversorgung. Nachdem bereits ein Temperaturmonitoringsystem für Überspannungsableiter auf Basis von FOFW-Sensoren über mehrere Jahre erfolgreich in Feldversuchen erprobt worden ist, befasst sich ein weiteres Projekt der TU Darmstadt mit dem Einsatz von FOFW-Sensoren für die Temperaturüberwachung von Freileitungsleiterseilen. Mittlerweile ist das System kommerziell verfügbar (System Ritherm der Firma LDIC+Ribe).

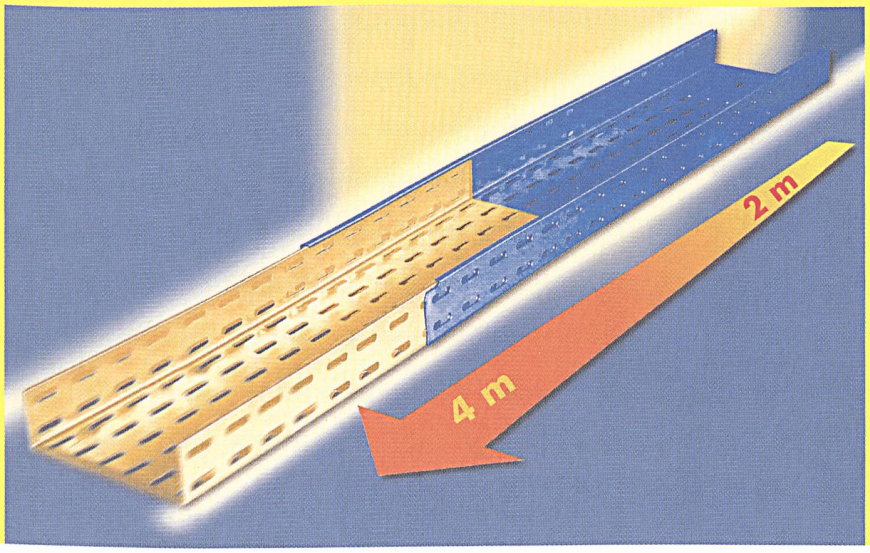
Zunächst wurde ein FOFW-Sensor für die Leiterseiltemperaturmessung entwickelt (Bild 4). Dieser wurde im Labor unterschiedlichen Hochspannungs-, Hochstrom- und thermischen Prüfungen unterzogen, um ihn für die geplanten Anwendungen zu qualifizieren. Alle Laboruntersuchungen bestätigten, dass FOFW-Sensoren, wie es ihr Wirkungsprinzip auch erwarten lässt, eine äusserst robuste und störunanfällige Technik darstellen. Seit Anfang 2004 sind an mittlerweile acht unterschiedlichen Stellen Feldversuche mit FOFW-Sensoren an 110-kV-, 220-kV- und 380-kV-Freileitungen durchgeführt worden, in denen gezeigt werden konnte, dass die FOFW-Technik grundsätzlich reif für den Einsatz ist [2].



Universität Darmstadt

Bild 4 Der FOFW-Sensor wird direkt am Leiterseil befestigt.

NEU: Messen vergessen!



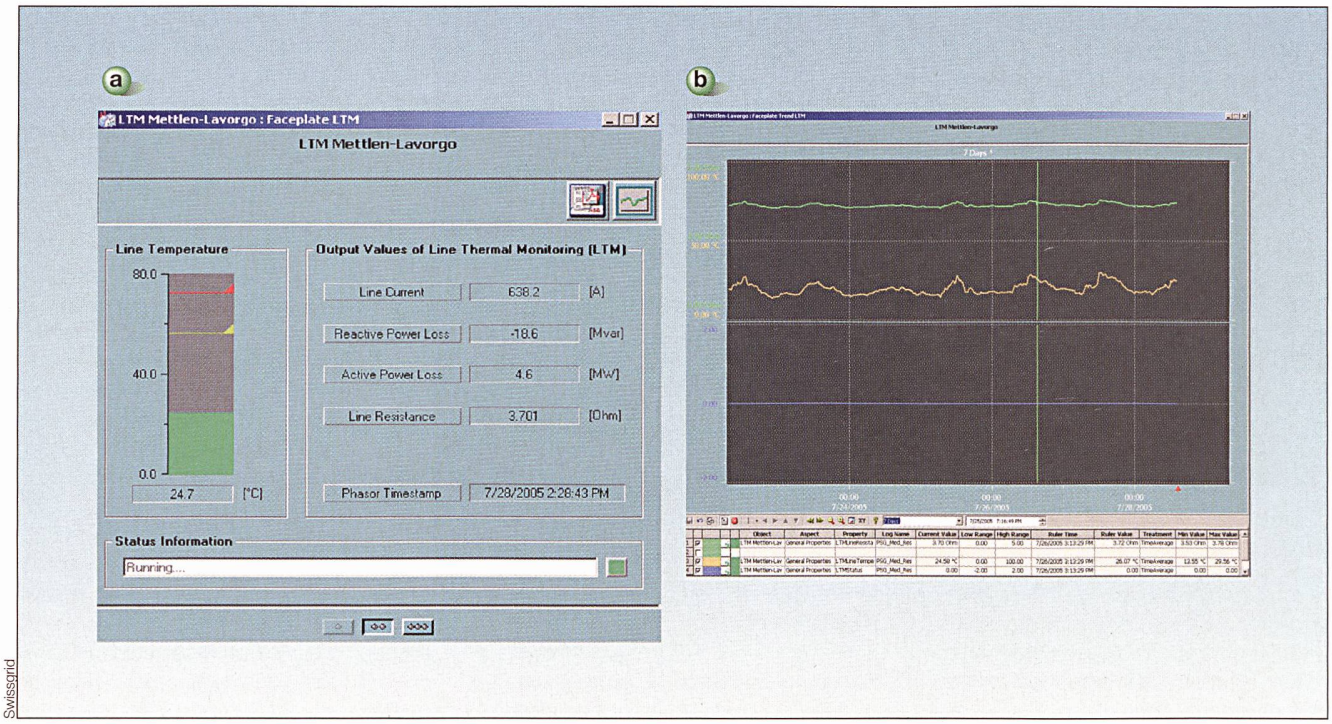
• T-SCOPIC – der dehnbare Kabelkanal

- Aus 2 Meter werden 4 Meter
- Keine Werkzeuge, keine Nacharbeiten – die Länge passt immer
- Zeiteinsparung 50 %
- Sendzimirverzinkte Stahlkanäle
- Höhen: 24, 48 mm, Breiten: 50 – 300 mm
- Lieferlänge 2 Meter, Montagelänge 2 – 4 Meter

Nutzen Sie die kompetente Beratung aus über 40 Jahren Erfahrung

Ebo Systems AG
Tambourstrasse 8
CH-8833 Samstagern
Tel. 01 787 87 87
Fax 01 787 87 99
info.ch@ebo-systems.com
www.ebo-systems.com

ebo
Ebo Systems



Swissgrid

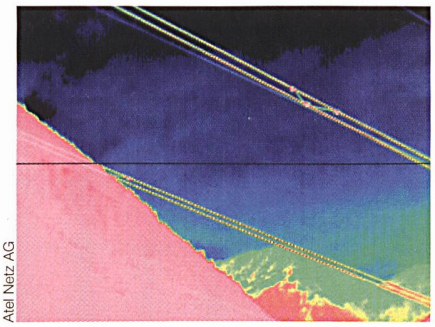
Bild 5 Das WAM-System berechnet die mittlere Leiterseiltemperatur durch genaue Wirkleistungsverlustmessung.
Bild 5b zeigt den zeitlichen Verlauf der Temperatur (orange Kurve) über mehrere Tage (grüne Kurve: Widerstand der Leitung).

Das WAM/LTM-System

Verschiedene Anwendungen von synchronen Phasenzeigermessungen (PMU) wurden bereits in verschiedenen Berichten aufgezeigt. Neben den ersten Vorschlägen für die Zustandsschätzung wurden diverse Stabilitätsüberwachungsmethoden vorgeschlagen, welche auf eine spärliche Verteilung der Phasenzeigermessgeräte setzten.

Neben den oben genannten Methoden kann mittels PMU auch die mittlere Temperatur einer Freileitung berechnet werden (Bild 5). Die Methode basiert darauf, dass eine PMU an beiden Leitungsenden eingebaut ist und die exakten Ströme und Spannungen misst. Die Genauigkeit der PMU-Messgeräte erlaubt es, die Leitungsparameter nachzurechnen. Generell kann davon ausgegangen werden, dass die Leitungsreaktanz ebenso wie die Parallelkapazität und der Leitwert weitgehend temperaturunabhängig sind. Der Leitungswiderstand hingegen hängt von der Leiterseiltemperatur ab. Die Beziehung zwischen dem Leitungswiderstand und der Leiterseiltemperatur ist linear und wird durch die Materialeigenschaften des Leiterseils bestimmt. So kann mit einfachen Mitteln die mittlere Leiterseiltemperatur berechnet werden; Voraussetzung ist aber eine exakte Strom- und Spannungsmessung in beide Richtungen.

Die Fehlerquelle bei diesem Verfahren liegt bei den Messwandlern, welche einen Versatz in die berechnete Temperatur einbringen können. Dieser Versatz kann jedoch kompensiert werden, sofern eine Referenztemperatur mit dem zugehörigen Widerstand bekannt ist.



Atel Netz AG

Bild 6 Thermovisionsbild des Leiterseils.

Temporäre Messeinrichtungen

Für die direkte Durchhangsmessung wurden ein Laser- und ein Radarmessgerät verwendet. Hier wurden die Messgeräte unterhalb der Freileitung aufgestellt, am tiefsten Durchhangspunkt des Leiterseils. Problematisch ist bei beiden Methoden, dass der Bodenabstand zum Leiterseil von unten her gemessen wird und das Leiterseil vom Boden her gesehen relativ schmal ist. Deshalb wurde eine kleine Aluminiumplatte zwischen den Bündelleitern befestigt, um den Messsystemen eine grössere Reflexionsfläche zu bieten.

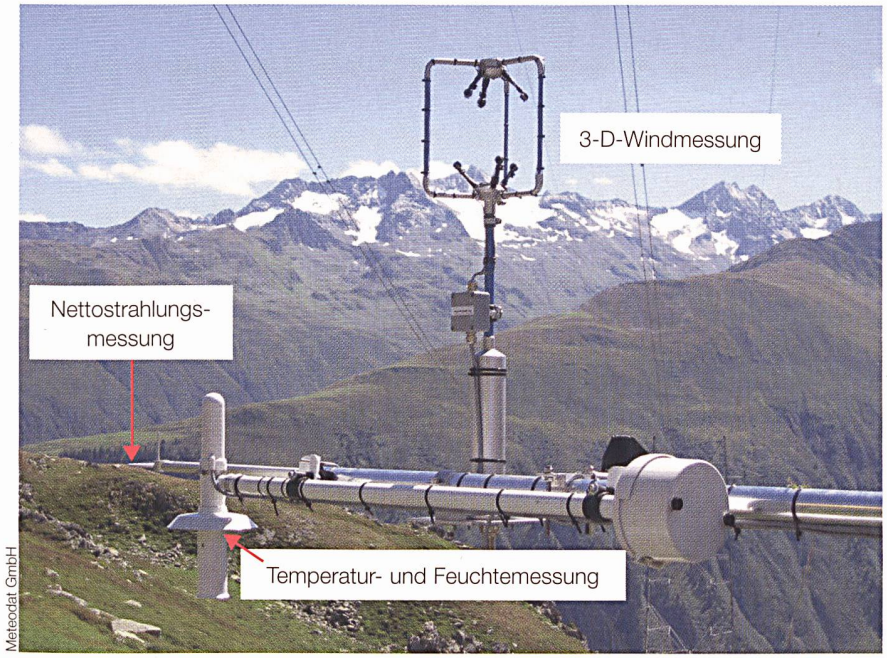
Zusätzlich wurde mittels einer Thermovisionskamera der infrarote Anteil des Lichtspektrums gemessen. Mit der Zuordnung der Farbinformation zur Temperaturskala kann die Temperatur eines bestimmten Punktes extrahiert werden (Bild 6). Die Zuordnung wurde mit einem Computerprogramm durchgeführt, wodurch Temperaturzeitreihen entstanden. Thermovisionsmessungen wurden vor allem dafür verwendet, die lokalen Messeinrichtungen auf ihre Richtigkeit zu überprüfen.

Meteorologische Messungen

Die meteorologischen Messungen wurden an den Freileitungsmasten auf Leiterseilhöhe durchgeführt und umfassten Lufttemperatur-, Nettostrahlungs- und Luftfeuchtigkeitsmessungen sowie räumliche Messungen der Windgeschwindigkeit (Bild 7). Die Messwerte wurden mit Werten von offiziellen Messstationen verglichen, die normalerweise ihre Messungen auf einer Höhe von 2 m über Boden (für die Windmessung: 10 m) durchführen.

Die maximale thermische Belastbarkeit von Freileitungsseilen hängt von den Witterungsverhältnissen ab. Zur Überwachung der einflussreichsten Parameter wurden drei verschiedene Sensoren installiert:

- Rotronic Instrument zur Messung von Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit: Die Sensoren sind gegen Sonnenstrahlung abgeschirmt und werden ventiliert. Die Luft-



Meteodat GmbH

Bild 7 **Meteorologische Messstation auf dem Leiterseil**

feuchtigkeitssensoren wurden zusätzlich gegen elektromagnetische Felder abgeschirmt, da sie sonst schneller altern.

- Nettostrahlungssensor NR-Lite zur Messung der Strahlungsbilanz.
- Anemometer WindMaster Ultrasonic zur Messung der horizontalen und vertikalen Windgeschwindigkeit sowie der horizontalen Windrichtung. Aus diesen Messungen konnte der Einfluss auf das thermische Verhalten und auf die Zugkräfte analysiert werden. Eine exakte Berechnung der Kühlung der Leiterseile durch den Wind ist schwierig, es existieren jedoch Schätzverfahren.

Anhand der Messdaten der relativen Feuchte war es möglich, Perioden mit Regen oder Nebel zu identifizieren. Für diese Wetterlagen wurde die kühlende Wirkung auf die Leiterseile abgeschätzt.

Die Messstationen sind so ausgelegt, dass ein wartungsfreier Betrieb über ein Jahr möglich ist. So war beispielsweise die Station 1 während 18 Monaten in Betrieb, ohne gewartet zu werden. Die Messdaten werden in einer 10-Minuten-Auflösung abgefragt und lokal gespeichert. Das Datenarchiv kann mittels RS-232-Schnittstelle oder via GSM-Datentransfer abgefragt werden.

Vergleiche mit offiziellen meteorologischen Messungen in der Nähe der Freileitung zeigten, dass die Messungen auf Leiterseilhöhe korrekt funktionieren und, wie erwartet, wichtige lokale Unterschiede aufzeigen. Die Wichtigkeit von meteorologischen Messungen auf Leiterseilhöhe wird in [3] beschrieben.

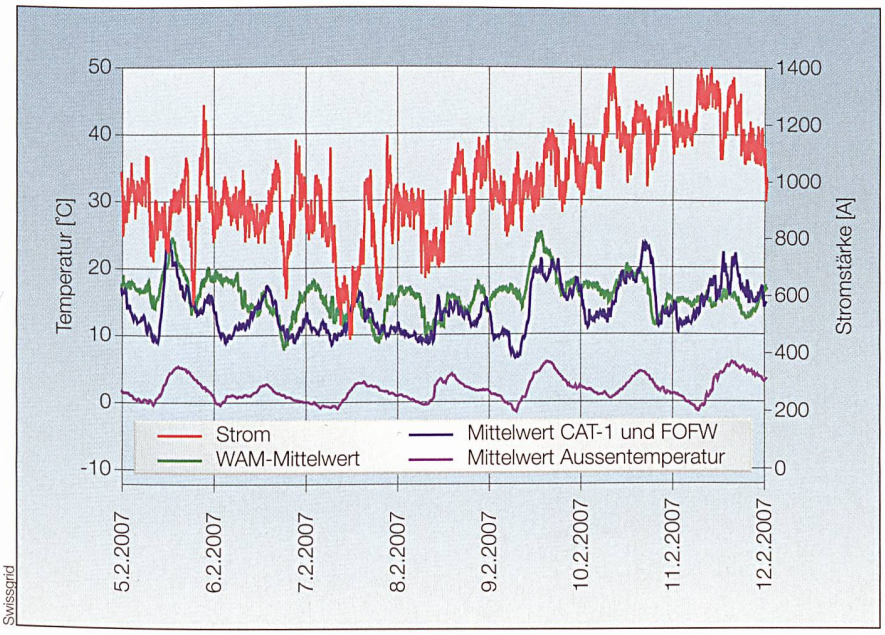
Ergebnisse

In Bild 8 ist das Verhalten der Leiterseiltemperatur über den Zeitraum einer Woche dargestellt. Gemessen wurde der Mittelwert des WAM-Systems sowie der kombinierte Mittelwert aus den beiden Systemen CAT-1 und FOFW. Es zeigt sich, dass die Temperaturverläufe tendenziell gleich sind, jedoch Abweichungen bestehen. Interessant ist, dass die Aussenlufttemperatur im Mittel nicht über 5 °C steigt, während die Leiterseiltemperatur um bis zu 25 °C schwankt.

Bild 9 veranschaulicht, in welchem Masse die Messergebnisse der einzelnen Verfahren voneinander abweichen bzw. wie der Nutzen der einzelnen Methoden einzustufen ist. Sowohl mit dem FOFW-Messverfahren als auch mit dem CAT-1-Messverfahren lassen sich sogenannte «Hotspots» sichtbar machen, also aufgrund ungünstiger Randbedingungen für die Kühlung oder aufgrund kritischer Bodenabstände extrem gefährdete Leitungsabschnitte. Für den Netzbetrieb selber sind hingegen Verfahren, die eine mittlere Leiterseiltemperatur liefern, eher geeignet.

Die genauere Analyse der in den Bildern 8 und 9 dargestellten Messungen zeigt, dass mit den zurzeit verfügbaren Messmethoden ein Sicherheitsband von etwa 10 °C auf jeden Fall berücksichtigt werden muss. Das heisst, dass auch nach sorgfältiger Kalibrierung für Punktmessungen mit einer Unsicherheit von bis zu 10 °C bzw. bei Mittelwertmessungen von +/–5 °C gerechnet werden muss.

Wichtig war die Ermittlung der thermischen Zeitkonstante eines Leiterseils. Das Problem hierbei lag darin, dass ein geeigneter Zeitpunkt gefunden werden musste, an dem die anderen meteorologischen Einflussfaktoren gering bzw. konstant waren, um den Vorgang der Erwärmung nicht zusätzlich zu beeinflussen. In Bild 10 sind ein Stromsprung von etwa 250 A und die entsprechende Temperaturmessung dargestellt. Mittels der Tangentenmethode wurde



Swissgrid

Bild 8 **Mittelwerte der Seil- und Aussenlufttemperatur.**

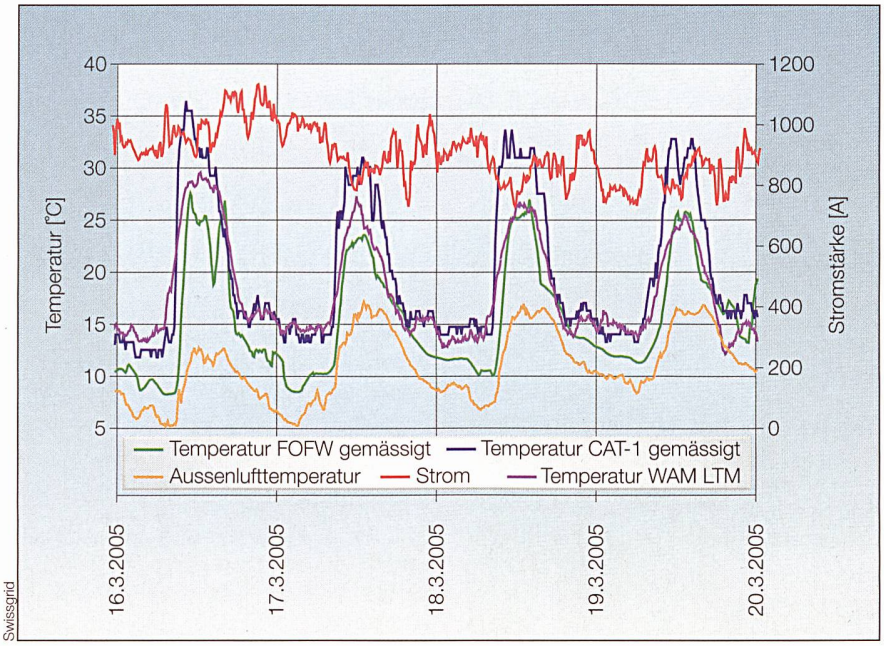


Bild 9 Darstellung der Messungen der Station 1 in Erstfeld.

eine Zeitkonstante von etwa 18 min grafisch herausgelesen. Während der Zeitspanne dieser Messung blieben die meteorologischen Einflüsse beinahe konstant oder waren sehr gering.

Dieser transiente Vorgang wurde zudem mit Berechnungsprogrammen nachgerechnet. Gemessene und berechnete Temperatur des Leiterseils decken sich hinsichtlich des dynamischen Verhaltens recht gut.

Ergebnisse der meteorologischen Messungen

Der Vergleich von Messungen auf Leiterseilhöhe mit Messungen an offiziellen Stationen ergab Folgendes:

- Bezüglich Lufttemperatur wurden auf Leiterseilhöhe geringere Tagesschwankungen als in Bodennähe beobachtet.
- Bei der Luftfeuchtigkeit waren die Unterschiede gering.
- Die Windmessung in der gemässigten Klimazone zeigte grössere Windgeschwindigkeiten als erwartet. Vor allem bei Föhnlagen war dieser Effekt wegen einer in diesem Talabschnitt herrschenden Windkanalwirkung sehr ausgeprägt. Während solcher Föhnlagen werden hier die Luftmassen mit vertikalen Windgeschwindigkeiten von über 5 m/s angehoben. Die maximalen gemessenen horizontalen Windgeschwindigkeiten lagen an diesem Standort mit rund 50 m/s etwa gleich hoch wie bei der Station 2 auf 2130 m ü. M. (Bild 2). Im nordalpinen Tal traten solche hohen Geschwindigkeiten jedoch wesentlich häufiger auf. Bei Station 3 im Tessin lagen die Spitzen etwas tiefer: Hier wurden wesentlich geringere mittlere Windgeschwindigkeiten gemessen als an den beiden anderen Stationen.

Die Windverhältnisse entlang der Leitungstrasse waren äusserst variabel und zeitlich nicht konstant. Mit den meteorologischen Messungen auf Leiterseilhöhe sollten diese Einflüsse des Wetters im Hinblick auf eine Verbesserung der Versorgungssicherheit eruiert werden [3]. Die Messungen haben ebenfalls deutlich gezeigt, dass die drei Klimazonen bezüglich Leiterseiltemperatur oftmals stark voneinander abweichen. Der für die Leiterseiltemperatur kritischste Teil der Leitung kann daher immer in einem anderen Teilstück der Leitung liegen.

Während des Pilotprojekts wurden immer wieder Zusammenhänge zwischen meteorologischen Daten und der Leiterseiltemperatur gesucht. Die bisher gesammelten Resultate über Einflussfaktor und die Auswirkung auf die Leiterseiltemperatur sind in Tabelle II aufgeführt. Wichtig ist dabei zu beachten, dass die «Faustregeln» für die Auswirkungen auf die Leitung bei tiefen Strömen nicht gelten: Die Messungen haben gezeigt, dass die Auswirkungen erst signifikant werden, wenn die Leitung mit 70% ihrer thermischen Kapazität ausgelastet ist.

Die Swissgrid AG verwendet für einen sichereren Netzbetrieb zusätzlich eine Temperaturprognose. Hierbei wird die Schweiz in verschiedene meteorologische Zonen aufgeteilt, für welche 5-Tages-Wetterprognosen erstellt werden, um zuverlässige Vorhersagen für extreme Wetterverhältnisse machen und entsprechend reagieren zu können. Momentan werden die Prognosen im Netzbetrieb noch nicht explizit umgesetzt, jedoch präventiv genutzt.

Das hier vorgestellte Projekt der Leiterseiltemperaturmessung wird auch in Zukunft weitergeführt. Eine nächste Etappe

Einflussfaktor	*Auswirkung*
Leitungsstrom	2–4 °C/100 A (ab 1000 A)
Nettostrahlung	≈ 2 °C/(100 W/m²) → max. 10 °C
Lufttemperatur	Ausgangstemperatur
Föhn	≈ 10 °C
Wind	genaue Aussage sehr schwierig
Regen	≈ –10 °C

Tabelle II Gesamtresultate.

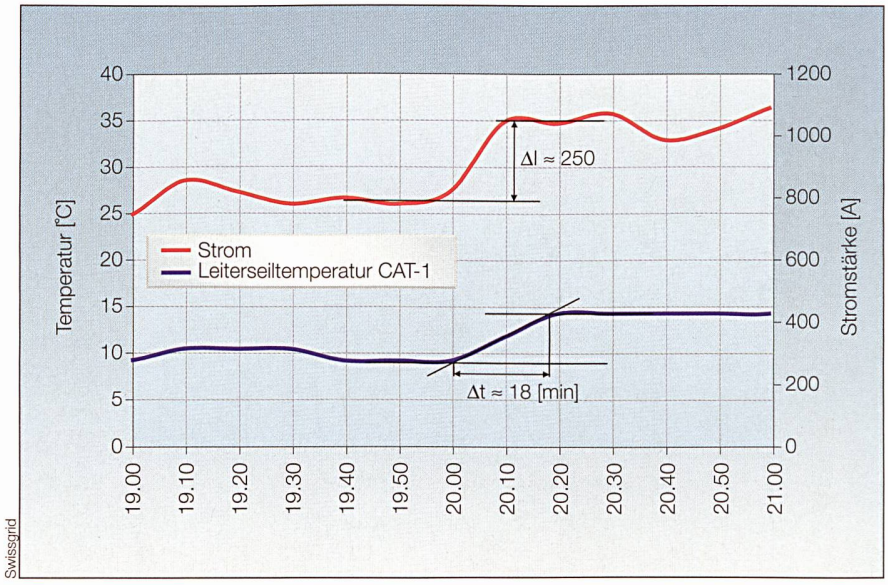
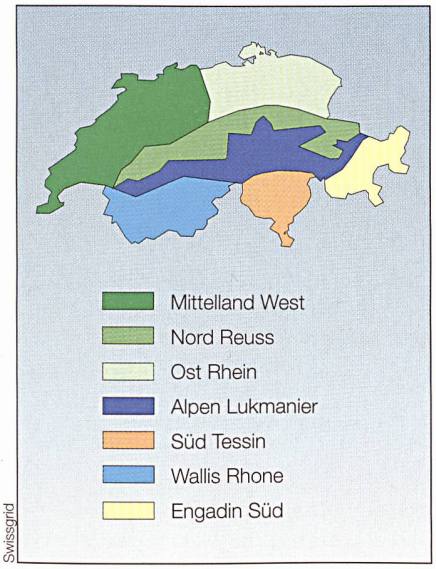


Bild 10 Messung der thermischen Leiterseilzeitkonstante.



Swissgrid

Bild 11 Darstellung der verschiedenen Klimazonen.

wird sein, alle lokalen Messungen in einem Datenarchiv zu sammeln und abzulegen. Des Weiteren soll untersucht werden, wie stark das Kühlvermögen des Windes ist und ob die Berechnungsprogramme den Einfluss der Windverhältnisse genau berücksichtigen. Ebenfalls steht zur Diskussion, ob weitere Leitungen überwacht werden sollen, die für das Projekt interessant wären. Die gesammelten Erfahrungen und Messungen werden dann sowohl der täglichen Betriebsplanung als auch dem Onlinebetrieb zur Verfügung gestellt.

Referenzen

[1] H. L. M. Boot, F. H. de Wild, A. H. van der Wey, G. Biedenbach: Overhead line local and distributed conductor temperature measurement techniques, models and experience at TZH. Cigré-Session 2004.

[2] R. Teminova, V. Hinrichsen, J. Freese et al.: New approach to overhead line conductor temperature measurement by passive remote surface acoustic wave sensor. Cigré-Session 2006, B2–304.

[3] T. O. Seppa: Blackouts – Lessons learned. The Valley Group Inc., September 2003.

[4] A. G. Phadke, J. S. Thorp. K. J. Karimi: State Estimation with Phasor Measurements. IEEE Transaction on PWRS, Vol. 1, Nr. 1, Februar 1986, S. 233–241.

[5] M. Zima, M. Larsson, P. Korba, C. Rehtanz, G. Andersson: Design Aspects for Wide-Area Monitoring and Control Systems. Proceedings of the IEEE, Vol. 93, Nr. 5, Mai 2005.

Angaben zu den Autoren

Dr.-Ing. *Joachim Bertsch* arbeitet bei ABB Schweiz im Bereich der Energietechniksysteme.
ABB Schweiz AG, 5400 Baden,
joachim.bertsch@ch.abb.com

Gerhard Biedenbach, dipl. Ing. TH, arbeitet bei Nexans, der international tätigen Herstellerin von Kabeln und Kabelsystemen.
Nexans, D-91126 Schwabach,
biedenbach@vr-web.de

Mark Bucher, dipl. El.-Ing. FH mit MAS BA, ist seit 2004 Mitarbeiter bei der Atel Netz AG und leitet seit 2006 das Projekt «Erstellung der Messstationen».
Atel Netz AG, Bahnhofquai 12,
4601 Olten, mark.bucher@atel.ch

Prof. Dr.-Ing. *Volker Hinrichsen* ist seit 2001 ordentlicher Professor an der Technischen Universität Darmstadt und leitet dort das Fachgebiet Hochspannungstechnik. Seine Forschungsschwerpunkte liegen auf den Gebieten Überspannungsschutz, Isoliersysteme, Schalttechnik und Diagnostik/Monitoring. Er ist Vorsitzender bzw. Mitglied in diversen Arbeitsgruppen bei IEC, Cigré, IEEE und DKE.
TU Darmstadt, D-64283 Darmstadt,
hinrichsen@hst.tu-darmstadt.de

Philippe Rothermann, dipl. El.-Ing. Hés., arbeitet seit 2005 bei Swissgrid in Laufenburg in der Abteilung Netzplanung und -Netzstudien.
Swissgrid AG, 5080 Laufenburg,
philippe.rothermann@swissgrid.ch

Dr.-Ing. *Walter Sattinger* ist seit 2003 bei der Etrans – heute Swissgrid – an der Nahtstelle zwischen Netzplanung und Netzbetrieb tätig.
Swissgrid AG, 5080 Laufenburg,
walter.sattinger@swissgrid.ch

Urs Steinegger ist seit 1998 Mitglied der Geschäftsleitung der Meteodat, einem Spin-off der ETH Zürich mit Sitz in Zürich.
Meteodat GmbH, Technoparkstrasse 1,
8005 Zürich, steinegger@meteodat.ch

Dipl.-Ing. *Renata Teminova* war von Juli 2002 bis Mai 2007 wissenschaftliche Mitarbeiterin im Fachgebiet Hochspannungstechnik der TU Darmstadt. Seit Juni 2007 ist sie im Qualitätsmanagement des ABB-Schaltanlagenwerks Grossauheim beschäftigt.
ABB, Brown-Boveri-Strasse 30,
D-63457 Hanau-Grossauheim

Martin Weibel arbeitet seit 1990 im Leitungsbau der Atel. Seit 2000 ist er Leiter Leitungen Nord der Atel Netz AG und Mitglied der Projektgruppe.
Atel Netz AG, Bahnhofquai 12,
4601 Olten, martin.weibel@atel.ch

[1] Die «mediterrane» Station liegt auf der Fortsetzungsleitung der Lukmanierleitung in der Magadino-Ebene.

Résumé

Echauffement des lignes dans le réseau haute tension

Résultats des mesures sur la ligne du Lukmanier. Etant donné la situation centrale de la Suisse dans le réseau composite d'Europe occidentale, des flux transitaires considérables passent par les corridors nord-sud entre l'Allemagne et l'Italie, chargeant fortement certaines lignes aériennes. La situation géographique particulière de la Suisse fait qu'il existe dans le pays, outre une zone à climat modéré, une zone climatique alpine et une zone méditerranéenne. Ces zones climatiques ne sont souvent traversées par les lignes nord-sud qu'entre deux postes de couplage.