

■ Wer den Einfluss des Wetters kennt, kann Überlandleitungen sicherer und effizienter betreiben

Wetterfähige Stromleitungen

Sollen Betreiber von Hochspannungsleitungen darauf achten, welches Wetter gerade herrscht? Nicht-Fachleute mögen diese Idee belächeln. Dabei wird genau dies im kleinen australischen Bundesstaat Tasmanien schon seit 20 Jahren erfolgreich praktiziert. Und vielleicht bald auch in der Schweiz. Entsprechende Forschungsarbeiten laufen auf Hochtouren.



Monteure befestigen das Solarpanel sowie den Windgenerator für die Energieversorgung der Messstation in La Punt. (Bild: Horst Hopitz)

Benedikt Vogel*

Fachleute sprechen von «dynamischem Thermorating» oder von «dynamischer Kapazitätsauslastung». Dahinter steckt der im Prinzip simple Gedanke, den Stromtransport in Überlandleitungen auf das jeweils herrschende Wetter abzustimmen. Das Wetter hat nämlich einen erheblichen Einfluss auf die Übertragungsleistung von Hochspannungsleitungen. Kalte Seile leiten Strom gemäss den physikalischen Gesetzen besser als warme Seile. Hinzu kommt, dass Leiterseile aus Stabilitätsgründen nur bis zu einer bestimmten Temperatur erhitzt werden dürfen. Bei den gebräuchlichen Freileitungen wird diese Grenztemperatur bei 80 °C angenommen. Herrscht nun kühles Wetter, kühlt dieses das Leiterseil, die Seiltemperatur steigt also durch den Stromfluss weniger schnell an. Anders ausgedrückt: Bei kühler Umgebungstemperatur kann mehr Strom transportiert werden, bis die Leitung ihre Maximaltemperatur von 80 °C erreicht. Wie gross der Einfluss des Wetters ist, veranschaulicht das folgende Beispiel: Kann ein bestimmtes Seil bei einer Seiltemperatur von 40 °C 700 Ampere Strom transportieren, dann steigt die Übertragungsleistung dieses Seils bei -10 °C auf stolze 1200 Ampere. Mit anderen Worten: Bei eisigem Winterwetter kann sich die Übertragungsleistung einer Hochspannungsleitung gegenüber extremer Sommerhitze fast verdoppeln. Wind würde die Kühlleistung sogar noch weiter steigern.

Sicherer und effizienter Betrieb der Leitungsnetze

Angesichts solcher Unterschiede verwundert es nicht, dass heute viel Forscherfleiss darauf verwendet wird, den

*Benedikt Vogel arbeitet im Bereich Forschungskommunikation und betreut Mandate für das Bundesamt für Energie (BFE), vogel@vogel-komm.ch

Einfluss des Wetters auf die Transportleistung von Überlandleitungen zu untersuchen. Ziel dieser Forschung ist, die Netzsicherheit zu erhöhen. Denn in den letzten Jahren ist das Hochspannungsnetz immer stärkeren Belastungen ausgesetzt. Noch in guter Erinnerung ist der Blackout vom 28. September 2003, als die Stromversorgung Italiens mehrere Tage beeinträchtigt war, nachdem die Versorgungsleitungen über den Lukmanier und den San Bernardino wegen Überbelastung kollabiert waren. Zu dem Sicherheitsaspekt gesellt sich seit einiger Zeit der Wunsch, die Netze effizienter zu betreiben, sie also – unter Beibehaltung der nötigen Sicherheitsmargen – an die Auslastungsgrenze heranzufahren. Dahinter stecken kommerzielle Überlegungen, aber auch die Hoffnung, letztlich weniger neue Leitungen bauen zu müssen. So könnten die langwierigen Realisierungszeiten von bis zu 20 Jahren umgangen werden, mit denen heute – auch wegen des Widerstands der Anwohner – zu rechnen ist.

Freileitungen bestehen in den meisten Ländern aus ACSR-Seilen (Aluminium conductor steel-reinforced cable), zusammengesetzt aus einem Stahlseil, das

die mechanische Festigkeit des Seils sicherstellt, sowie einem Aluminiummantel, der den Strom leitet. Grossbritannien und die Schweiz setzen dagegen die etwas leichteren AAAC-Seile (All Aluminium Alloy Conductor) ein. Diese kommen ohne Stahlkern aus, sie bestehen durchgehend aus Aluminium, genauer gesagt aus der Aldrey-Legierung. Diese verleiht dem Seil besondere Zugfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit. Beide Seiltypen sind seit Jahrzehnten zuverlässig im Einsatz. Allerdings wissen selbst Experten und Hersteller nicht ganz genau, wo die maximalen Belastungsgrenzen der Leiterseile und damit der Netze liegen. Christian M. Franck, Elektrotechnik-Professor an der ETH Zürich, fasst den aktuellen Wissensstand pointiert zusammen «So, wie wir die Netze bisher betreiben, ist es im Grund fast wie im Blindflug. Aber da wir auf der sicheren Seite weit genug von der Grenze entfernt fliegen, ist das nicht riskant.» Vor diesem Hintergrund wollen Forscher nun exakt verstehen, welchen Einfluss Stromdurchleitung oder Wettereinflüsse (Lufttemperatur, Wind, Eis usw.) auf den Zustand des Leiterseils (Seiltemperatur, Seilqualität usw.) haben.

Tests bei 4000 Ampere

Christian M. Franck arbeitet in Zürich in der Nähe des ETH-Hauptgebäudes. Er führt den Besucher in ein turnhallengrosses Labor. Raumhohe, futuristisch anmutende Gebilde liefern die Wechsel- und Gleichspannungen, mit denen dann hier im Hochspannungslabor der ETH untersucht wird, wie sich neue Komponenten in den elektrischen Übertragungsnetzen der Zukunft verhalten werden. Franck führt zu dem Prüfstand, an dem er und seine Forscherkollegen in einem aktuellen Projekt mit dem Namen «Temperaturabhängige Kapazitätsausnutzung für Freileitungen» (TeKaF) die maximale Stromtragfähigkeit von Aldrey-Freileitungen untersuchen. Auf dem Prüfstand sind zwei Aldrey-Leitungen aufgespannt und zu einem Stromkreis verbunden. Die Seile können – bei niedriger Spannung von einigen Volt – mit einem Wechselstrom bis zu 4000 Ampere belastet und einer Zuglast von bis zu 50 kNewton ausgesetzt werden. Hier untersuchen die ETH-Forscher, wie verschiedene Typen von Aldrey-Seilen auf verschiedene Stromstärken und Zugspannungen reagieren, wie sie sich erhitzen und wie sich die Temperatur innerhalb des Seils ra-



TECH ZONE
BY WORKZONE

**BEKLEIDUNG
FÜR PROFIS**

LASSEN SIE SICH AUCH ÜBERZEUGEN UND TESTEN SIE **KOSTENLOS** TECH ZONE

Was erwartet Sie als Tragetester von WorkZone™?

Wir senden Ihnen ein Tech Zone Outfit bestehend aus einer Hose & einem Oberteil gemäß Ihres Gewerbes. Ihre Aufgabe ist es die Bekleidung über 4 Wochen zu tragen und uns zu erzählen, wie Ihnen die Kleidung gefällt.

Machen Sie mit! Schicken Sie uns bis zum 5. April 2013 ein E-Mail mit

folgenden Informationen: Gewerbe, Name, Adresse, Alter, Grösse.

Firmen dürfen gerne 2-3 Mitarbeiter anmelden.

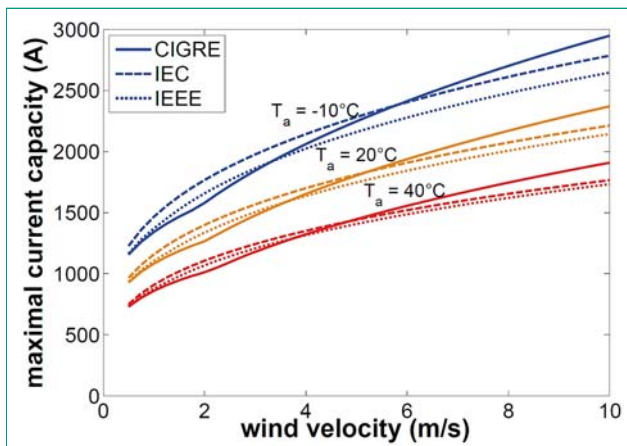
Schicken Sie Ihre Infos an: marketing@f-engel.com

Als Dankeschön für
Ihre Teilnahme gibt
es noch eine kleine
Überraschung.

F. Engel sucht für den Tragetest eine begrenzte Anzahl Teilnehmer. Einige Teilnehmer werden für ein Telefoninterview ausgewählt, welches von einer unabhängigen Journalistin durchgeführt wird. Alle Teilnehmer erhalten einen Fragebogen zum Ausfüllen den Sie zusammen mit einem Foto von den Mitarbeitern in Tech Zone Kleidung an uns schicken. Das Testergebnis wird in der Elektrotechnik im Juni 2013 veröffentlicht.



www.workzone.dk



Die Grafik zeigt, wie stark die Lufttemperatur die Durchleitungskapazität einer Freileitung beeinflusst. Die Kurven veranschaulichen diesen Einfluss für den Sommer: Beträgt die Lufttemperatur nicht 40 °C, sondern –10 °C, könnte die Leitung ca. 50 % mehr Strom transportieren, ohne zu überhitzen. Bläst der Wind, steigt die Durchleitungskapazität ebenfalls markant an. In der Realität sind nicht nur die Leitungen für die Durchleitungskapazität verantwortlich; daher handelt es sich um theoretische Werte. (Grafik: ETH)

dial und in der Länge ausbreitet. Dabei beobachteten die Forscher zum Beispiel, dass sich Aldrey-Seile innen stärker erhitzen als aussen, was zu einer mechanischen Verformung der einzelnen Adern führt; im Extremfall bis zu einer irreversiblen Schädigung des Seils. An der ETH stehen elektrisch-thermische Fragestellungen im Vordergrund, während EMPA-Forscher im Rahmen des TeKaF-Projekts die mechanische Zug- und Bruchfestigkeit untersuchen. Um die Alterung von Seilen wirklichkeitsnah zu simulieren, dient in der EMPA ein Ofen. Und wenn die ETH-Forscher Sonneneinstrahlung nachahmen wollen, benutzen sie eine Infrarotlampe. Ein Behelf, wie Versuchsleiter Franck einräumt: «Das Wetter in seiner Komplexität können wir hier drin natürlich nicht simulieren.»

Messgeräte und Kameras in luftiger Höhe

Wer die Wettereinflüsse auf die Freileitungen untersuchen will, der muss nach draussen gehen, auf den Berninapass oder den Lukmanier, in jene Gebiete, wo die Hochspannungsleitungen die Alpen queren und extremen Wetter- und Temperaturbedingungen ausgesetzt sind. Hier oben in den Bergen setzt ein zweites aktuelles Forschungsvorhaben mit dem Titel «Optimierung des Betriebes von Freileitungen aus meteorologischer Sicht» an. Dieses will ergründen, wie das Wetter auf Freileitungen wirkt, wie die Lufttemperatur, Wind, Regen und Schnee die Seiltemperatur beeinflussen, welche Rolle die Oberflächenbeschaffenheit und das Alter des Seils

spielen. Um die Wettereinflüsse zu bestimmen, haben die Forscher im vergangenen Jahr an wichtigen Nord-Süd-Transitleitungen Messgeräte installiert. An der Bernina-Leitung zwischen Engadin und Puschlav wurden drei Messstellen (La Punt, Lagalb und Campocologno) eingerichtet. Messfühler ermitteln dort die Seiltemperatur, Meteorstationen messen Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Windrichtung und -stärke sowie die Globalstrahlung (direkte und reflektierte Sonneneinstrahlung). Die Messeinrichtungen an der Lukmanier-Leitung – bereits seit 2004 im Einsatz –

wurden angepasst und ergänzt. So verlegten die Wissenschaftler eine Meteorstation auf einen neuen, jetzt auf 2510 Meter über Meer gelegenen Standort, wo spezielle Windverhältnisse und Vereisung erwartet werden. Zwei weitere Messstationen richteten sie an der Habsburg-Leitung zwischen Beznau und Regensdorf ein. An der Bernina-, der Lukmanier- sowie an drei weiteren Überlandleitungen (Standorte: Scheltenpass, Chrinde, Grimsel) wurden fünf Webkameras in Betrieb genommen. Sie erfassen allfällige Eisbildung an den Leitungen. Seit letztem Herbst liefert das von Alpiq, BKW, Repower, Swissgrid und dem Bundesamt für Energie unterstützte Programm Messwerte.

Strommenge nach aktueller Wetterlage

Seither können Forscher die Daten über einen Webbrowser abrufen und analysieren. So auch Urs Steinegger,

der jetzt in seinem Büro im Technopark Zürich vor dem Computerbildschirm sitzt. Steinegger ist Co-Geschäftsführer von Meteodat, einem Spin-Off der ETH Zürich. Auf seinem Computerbildschirm prangen lange Zahlenreihen. Ein violetter Balken veranschaulicht den Stromtransport der Lukmanierleitung über den Jahreswechsel 2012/13: Über die Festtage flossen nur 500 Ampere, das Seil war 10 °C warm; in den nachfolgenden Werktagen kletterte die Übertragungsleistung auf 1400 Ampere, und die Seiltemperatur auf 25 °C. Aus diesen und vielen weiteren Daten will Steinegger das dynamische Thermorating möglich machen, also einen Betrieb der Überlandleitungen, der exakt auf das jeweilige Wetter zugeschnitten ist. Die Dis-pacher der Netzbetreiber könnten dann bei der Festlegung der maximalen Strommenge – so das Fernziel – für jede Überlandleitung auf das aktuelle regionale Wetter abstellen. «Wir sind die einzigen, die die Meteorologie ins Zentrum stellen», sagt Steinegger über sein Forschungsprojekt, das vom Bundesamt für Energie finanziert wird und an dem die Firma Meteotest und die Netzgesellschaft Swissgrid beteiligt sind.

Ein dynamischer Betrieb der Netze wäre gegenüber heute ein grosser Schritt. Aktuell wird dem Betrieb der Freileitungen nicht die aktuelle Temperatur zugrunde gelegt, sondern eine für die ganze Schweiz pauschal ermittelte Durchschnittstemperatur: 40 °C im Sommer, 10 °C im Winter, und 20 °C in den Zwischenmonaten April und Oktober. Das dynamische Leiterseilrating brächte gegenüber der aktuellen Praxis einen Effizienzvorteil: «Für einzelne Tage könnten

Stromversorgungsverordnung revidiert

In der Schweiz besteht ein dringender Erneuerungs- und Ausbaubedarf des teilweise über 40 Jahre alten Stromnetzes, das den künftigen Stromflüssen nicht mehr gewachsen ist. Durch den Ausbau der dezentralen, erneuerbaren Stromerzeugung entstehen gemäss Energiestrategie 2050 geschätzte zusätzliche Investitionen von 3,9 bis 12,6 Milliarden Franken im Verteilnetz und 2,5 Milliarden Franken im Übertragungsnetz. Für diesen Netzausbau werden mit der vorliegenden Revision der Stromversorgungsverordnung die wirtschaftlichen Voraussetzungen geschaffen. Durch eine neue Berechnungsmethode

wird eine marktgerechtere Vergütung des eingesetzten Kapitals erreicht. Die notwendigen Investitionen in das Verteil- und Übertragungsnetz werden durch die bessere längerfristige Planbarkeit gestützt.

Für die SBB und Privatbahnen, die in der Schweiz eigene Kraftwerke und Netze betreiben, wird eine Ausnahmeregelung von der Endverbraucherregelung in der Grundversorgung eingeführt. Ziel dieser Regelung ist der Abbau von Investitionshemmnissen.

Die diesbezüglichen Regelungen der Stromversorgungsverordnung treten am 1. Juli 2013 in Kraft.

wir fünf bis zehn Prozent mehr Strom durchleiten», schätzt Steinegger. Das gilt insbesondere für kühle Sommer- oder sehr kalte Wintertage. Hingegen müsste die Strommenge an vergleichsweise warmen Wintertagen vermutlich tendenziell reduziert werden. Ob über das Jahr unter dem Strich mehr Strom durch die Netze geleitet werden kann, lässt sich beim bisherigen Stand der Forschung noch nicht sagen. Allerdings lässt sich vermuten, dass den Netzbetreibern für Leistungsspitzen an kalten Tagen mehr Durchleitungskapazität zur Verfügung stehen dürfte.

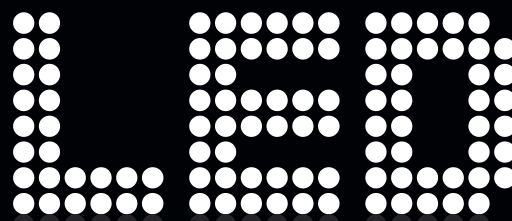
Verlässlicher Blick in die Zukunft

Die dynamische Bewirtschaftung des Netzes liesse sich zusätzlich verbessern, würden möglichst zuverlässige Wetterprognosen einen Blick in die Zukunft erlauben. Bereits seit 2005 erstellt Meteodat für die nationale Netzgesellschaft Swissgrid Prognosen zur Lufttemperatur; dies in Drei-Stunden-Schritten für die nächsten fünf Tage in sieben Schweizer Regionen. Solche Prognosen sind also bereits Realität, werden aber im operativen Betrieb der Netze noch nicht durchgängig berücksichtigt. In 97 bis 98 Prozent der Fälle kann die Lufttemperatur am zweiten Prognosetag auf $\pm 2^\circ$ genau vorhergesagt werden. Diese Genauigkeit soll mit der jüngsten Forschung nochmals verbessert werden. Um dieses Ziel zu erreichen, ist noch viel Aufwand nötig. Denn wie so oft steckt der Teufel auch hier im Detail. So ist es zum Beispiel sehr anspruchsvoll, aus den gemessenen meteorologischen Werten die Seiltemperatur zu berechnen. Eine zuverlässige Berechnungsmethodik für Leiterseiltemperatur als Einflussgrösse des Wetters ist denn auch eines der vorrangigen Forschungsziele. Hinzu kommen einfach erscheinende, in der Praxis aber ziemlich vertrackte Fragestellungen wie die, wie man die Temperatur eines Seils misst. Das wird bisher teilweise so gemacht, dass die – je nach Wärmeausdehnung verschieden starke – Zugkraft des Seils gemessen und daraus auf dessen Temperatur geschlossen wird. Die im letzten Jahr neu installierten Temperaturfühler an den Leiterseilen lassen den Schluss zu, dass die Seiltemperaturberechnung aus der Zugseilmessung möglicherweise zu ungenau ist. Die aktuelle Forschung dient also auch dazu, überhaupt erst eine zuverlässige Messmethodik zu entwickeln, die später für den operativen Betrieb eingesetzt werden kann.

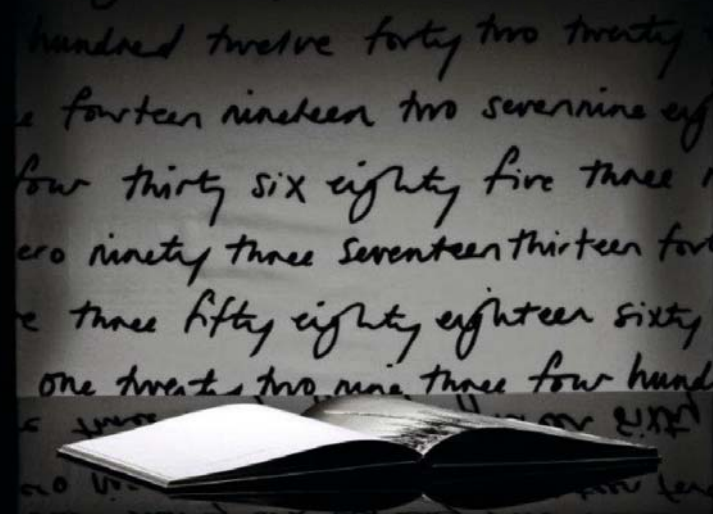
Drohende Eisbildung rechtzeitig erkennen

Einen speziellen Akzent setzt das Forschungsprojekt zur «Optimierung des Betriebes von Freileitungen aus meteorologischer Sicht» beim Thema Vereisung, einem Problem, das im Alpenraum akut ist. Wenn Leiterseile vereisen, legen sie an Gewicht zu, was zu Beschädigungen oder – im Extremfall – zu einem Seilriss führen kann. Um dies zu vermeiden, nehmen die BKW schon heute bei Vereisungsgefahr einige Leitungen vom Netz und wärmen sie durch einen Kurzschluss gezielt auf. Im vorliegenden Forschungsprogramm werden von der Firma Meteotest Vereisungsereignisse anhand der Temperatur- und Feuchtigkeitsprognosen bis zu zwei Tage vorgesagt. Gute Prognosen würden den Netzbetreibern zusätzlich Zeit verschaffen, die Vereisung durch geeignete Massnahmen zu unterbinden. Ideal wäre, wenn man die Leitungen gar nicht vom Netz nehmen müsste, sondern die Seile durch die durchgeleitete Strommenge gezielt so erwärmen könnte, dass keine Eisbildung einsetzt. Doch das ist noch Zukunftsmusik.

Weitere Informationen: Michael Moser, Leiter des BFE-Forschungsprogramms Netze, michael.moser@bfe.admin.ch
www.bfe.admin.ch



Wir sind Ihr LED Spezialist!



LED-Panel auf Mass!

Die extrem flachen LED-Panel von maximal 3.0x2.0m werden durch eine neuartige Lasertechnik bearbeitet und erhalten dadurch eine punktuelle Struktur, um das LED Licht effektiv, d.h. mit hoher Lichttransmission durch zuleiten und an die Oberfläche der Kunststoffplatte zu führen.

Die extra dafür geschriebene Software des Lasers berechnet die individuelle Punktierung anhand der L x B Mass so dass die Lichtbrechung wie bei einem Prisma das Licht gleichmässig bis in das Zentrum führt um eine homogene Ausleuchtung zu gewährleisten.

Die Panels können mit beliebigen Fotos oder Firmenlogos bedruckt werden.



Proflight AG, Chamerstrasse 115, 6300 Zug, Tel. 041 761 22 22,
Fax 041 761 23 23, info@proflight.ch, www.proflight.ch