



Der heiße Draht im Netz

Höhere Temperaturen bei Freileitungen können helfen, Stromüberschüsse zu transportieren



Das Stromnetz, wie es Jahrzehnte im Einsatz war, kommt bei einem vermehrten Transport über große Distanzen an seine Grenzen. Es gibt schon jetzt limitierende Engpässe. Eine Möglichkeit, mehr Wind- und Sonnenenergie ins Netz zu integrieren, sind Freileitungen mit einer höheren Maximaltemperatur. Diese können mehr Strom transportieren, sodass Netzengpässe vermieden werden. Ein Problem dabei: Metalle dehnen sich bei hohen Temperaturen stärker aus, die Leitung längt sich und hängt stärker durch. Spezielle Hochtemperatur-Leiter können Abhilfe schaffen.

Bei vergleichbarem Leiterquerschnitt könnte sich die Transportfähigkeit vorhandener Trassen nahezu verdoppeln. Bisherige Leitungen sind für Temperaturen bis maximal 80 °C ausgelegt. Bei einem höheren Strom steigt einerseits die Temperatur; es wird aber auch mehr Leistung transportiert. Dies bietet das Potenzial, den Netzausbau zu verringern. Das Problem bei der konventionellen Bauweise: Aufgrund der höheren Temperatur steigt der Durchhang der Leitung. Das kann zu kritischen Situationen führen. HTLS-Leitenseile (High-Temperature-Low-Sag-Leitenseile) halten dauerhaft Temperaturen von bis zu 210 °C aus und längen sich weniger als Leiter klassischer Bauart.

Projekt-Mitarbeiter Dr. Ralf Puffer von der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH Aachen) erklärt: „Die Leiter werden im Regelfall unter ihrer Maximaltemperatur betrieben. Da die höheren Leistungen nur selten benötigt werden, halten sich die zusätzlichen Verluste in vertretbaren Grenzen.“ Anders ausgedrückt: Die höhere Stromtragfähigkeit ist vor allem eine Flexibilitäts-Option. Keine Freileitung in Deutschland wird dauerhaft an ihrer Leistungsgrenze betrieben. Der Grund dafür ist das sogenannte n^{-1} -Kriterium. Es besagt, dass das Netz auch dann noch stabil bleiben muss, wenn eine Freileitung ausfällt. Die verbliebenen

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)



Abb. 1 Der Laboraufbau ermöglichte es den Wissenschaftlern, vielfältige Wetterbedingungen zu simulieren. Die Tageslichtlampen oben simulierten die Solarstrahlung, der Windkanal strömte die Leitung im Winkel von 90° an.

Komponenten müssen dann die Leistung übernehmen. Daher benötigt jedes Betriebsmittel eine gewisse Sicherheitsreserve.

Höhere Temperaturen mit neuen Materialien

Trassen für Freileitungen wurden in der Vergangenheit meist für Standard-Leitenseile ausgelegt. Ein höherer Durchhang könnte fatale Folgen haben: Der Abstand zum Boden oder zu anderen Betriebsmitteln würde sich verringern, die Sicherheit wäre nicht mehr jederzeit gewährleistet. Bei einem Mastabstand von 400 Metern kann der Durchhang je nach Witterung und Stromfluss um mehrere Meter variieren.

Um die höhere Ausdehnung aufgrund der höheren Temperaturunterschiede zu vermeiden, besitzen HTLS-Leiter einen angepassten Aufbau: Im Gegensatz zum üblichen, stabilisierenden Stahlkern sowie zur Aluminium-Ummantelung für die Stromübertragung besitzen sie einen Kern aus Kohlenstofffaser-Verbundwerkstoff, Aluminium-Keramikfaser-Verbundwerkstoff oder aus speziellen Stahl-Legierungen. Diese Materialien dehnen sich bei hohen Temperaturen weniger stark aus und können daher als tragender Kern für die leitende Aluminium-Schicht dienen. Das Aluminium besitzt zudem eine etwas andere Zusammensetzung, die auch bei hohen Temperaturen langlebig ist.

Die Besonderheit von HTLS-Leitern ist die Leiterausdehnung nach dem sogenannten Knickpunkt. Ab dieser Stelle ist das Aluminium stärker ausgedehnt als der Kern. Dadurch trägt es nicht mehr zur Stabilität bei; der Kern trägt die gesamte Last. Da sich das Aluminium nicht weiter in der Länge ausdehnen kann, lockern sich die äußeren Lagen ein wenig auf. Das ist vergleichbar mit einem Schnürsenkel, der an beiden Enden zusammengedrückt wird, sodass sich der Durchmesser vergrößert. „Diese Eigenschaft ist für die Kühlung der Leitung positiv“, ergänzt Projektleiter Tobias Frehn. „Aufgrund der Aufkorbung vergrößert sich die Oberfläche des Leiters. Dadurch kann die Wärme besser abgeführt werden.“

Erfahrungswerte im Feldtest sammeln

Um den Durchhang von HTLS-Leitern bestimmen zu können, unternahmen die Forscher aufwendige Labor- und



Abb. 2 Sowohl die Drähte im Kern als auch die Aluminium-Zirkonium-Drähte im Mantel tragen zur Zugfestigkeit und zur Leitfähigkeit des ACCR-Seils bei.

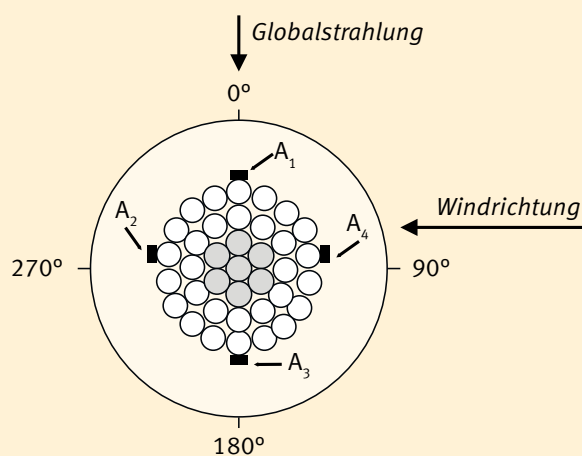


Abb. 3 Die exakte Ermittlung der Leiteroberflächentemperatur war ein wichtiger Schritt, um die Berechnungsmodelle zu verifizieren bzw. ihre Ungenauigkeiten aufzuzeigen. Dazu installierten die Forscher in gewissen Abständen jeweils vier Messensoren am Leiter mit einer Winkelverschiebung von 90°.

Feldtests. Der Feldversuch fand auf einem rund 10 Kilometer langen Abschnitt einer 220-kV Leitung statt. Dieser bot sich unter anderem an, da die Übertragungskapazität teilweise nicht ausreichte – eine Erweiterung beziehungsweise Verstärkung der Leitung war also notwendig. Weiterhin passte der Umbau zeitlich in den zuvor erstellten Projektplan. Die Ingenieure installierten drei verschiedene Leiterseilarten (Abb. 5). Bis zur Teststrecke waren jeweils zwei parallele Standard-Leiter pro Phase installiert; die Hochtemperaturleiter hingegen hatten nur ein Seil pro Phase. Dementsprechend war der Stromfluss hier doppelt so hoch. Während des Tests ermittelten die Forscher den Leiterdurchhang und zeichneten zusätzlich neben den Stromwerten auch Wetterdaten, Leiter- und Klemmentemperaturen in minütlicher Auflösung auf. Außerdem ermittelten sie die Zugkräfte an den Klemmen.

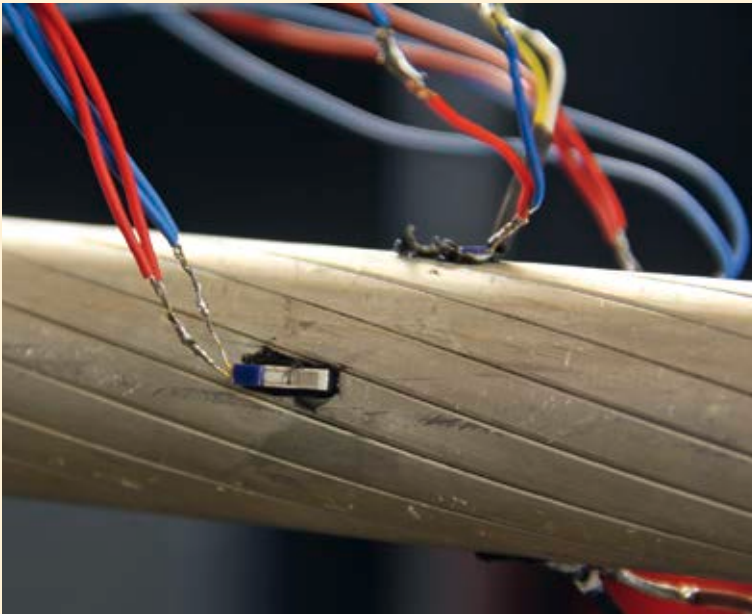


Abb. 4 Die Temperatursensoren werden mit thermisch leitfähigem Hochtemperatur-Silikonkleber am Leiter fixiert.

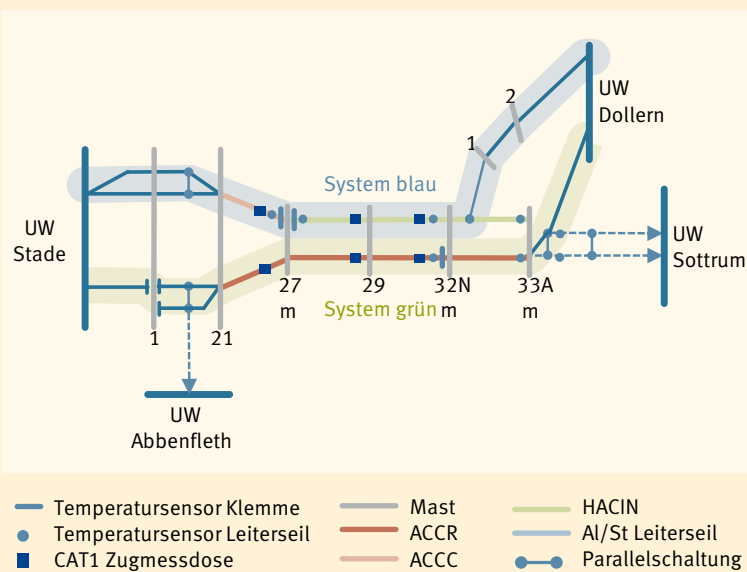


Abb. 5 Das Schema zeigt die verschiedenen Leiterarten während des Feldtests: Zwischen Mast 21 und 33A kamen HTLS-Leiter zum Einsatz. Die Orte der Temperaturmessung an den Leitern sind mit einem Kreis, die der Klemmentemperaturen mit einem Strich markiert.

Drei Leitertypen im Test

Der Kern des ersten Leiters, des Aluminium Conductor Composite Core (ACCC), besteht aus einem Kohlefaser-Verbundwerkstoff. Das Kernmaterial dehnt sich beim gleichen Temperaturanstieg nur um ein Siebtel im Vergleich zu Stahl aus. Nach einer Längenzunahme von rund zwei Prozent der Ausgangslänge kommt es zum plötzlichen Bruch. Leiter mit Stahlkernen zeigen bei einer thermischen Überlastung zunächst eine plastische Verformung, bevor sie reißen. In der Praxis lässt sich eine überlastete Leitung so leichter identifizieren und vor dem kompletten Versagen austauschen. Getestet wurden auch Seile mit einem Aluminiumoxidfaser-Metallmatrix-Verbundwerkstoff-Kern. Diese Aluminium Conductor Composite Reinforced (ACCR) genannten Leiter haben von den getesteten Varianten die höchste Ausdehnung bei Temperaturanstiegen. Doch sie beträgt nur rund die Hälfte

von klassischen Leitern. Dafür vertragen sie dauerhaft Temperaturen von 210 °C. Obwohl sie Standardleitern optisch ähneln, sind sie steifer, wiegen deutlich weniger und erreichen eine höhere Leitfähigkeit. Als dritte Variante kam im Innenteil des Leiters eine Legierung der Stahldrähte mit einer Eisen-Nickel-Verbindung zum Einsatz. Diese Invar genannte Legierung reduziert die thermische Ausdehnung auf rund ein Drittel.

Reproduzierbare Bedingungen im Labor

Parallel dazu testeten die Wissenschaftler das thermische Verhalten unter reproduzierbaren Bedingungen im Labor. „Wir konnten hier die Wetterrandbedingungen wie Wind, Temperatur und Globalstrahlung beeinflussen. Ein Labor für diesen Zweck ist in dieser Art weltweit einmalig“, erläutert Dr. Ralf Puffer. Die Wetterrandbedingungen haben neben der Stromstärke einen wesentlichen Einfluss auf die Temperatur und Kühlung des Leiters. Der Laboraufbau erstreckte sich über eine Länge von 7,5 Metern (Abb. 1). So war es möglich, die Leiter- und Kerntemperatur unabhängig von Randeffekten wie der Kühlung von Armaturen zu untersuchen. Die Ströme betragen im Test maximal 3.000 Ampere. Als Worst-Case-Szenario stellte das Projektteam die Temperatur auf 35 °C bei einer Windgeschwindigkeit von 0,6 m/s und einer Sonneneinstrahlung von 900 W/m² ein. Das entspricht einem windstillen Hochsommertag mit wolkenlosem Himmel. Mithilfe des Windkanals konnte der Wind auf bis zu 15 m/s angehoben werden, um seine Kühlwirkung zu überprüfen.

Zur Temperaturmessung statteten die Forscher die Leiter an verschiedenen Stellen mit jeweils vier Mess-Sensoren aus (Abb. 3). Sie erfassten den Temperatur-Einfluss der Globalstrahlung und des Windes an der Leiteroberfläche. Ein Ergebnis der Messungen: Bei Temperaturen bis 100 °C bieten bestehende Berechnungsmodelle auch bei HTLS-Freileitungen eine gute Genauigkeit. Darüber stoßen sie jedoch an ihre Grenzen. Zwar traten bei den Messungen und den Berechnungen nach den bestehenden Normen keine kritischen Zustände der Leiter auf. Die Berechnungen sind aber teils konservativ, sodass nicht alle Leitungsreserven optimal genutzt würden.

Richtlinienempfehlung für neue Normen

Um einen flächendeckenden Einsatz zu ermöglichen, müssen sich Netzbetreiber auf gültige Standards berufen können. Immerhin hängen die Leiter Jahrzehnte an den Masten. Neben der hohen technischen Verfügbarkeit darf auch keine Gefährdung von ihnen ausgehen. Die Ergebnisse des Forschungsprojekts flossen daher in eine Empfehlung zur Aktualisierung des Freileitungsnormenwerks in Bezug auf Hochtemperatur-Leiteseile ein. Die Forscher empfehlen unter anderem, den Technischen Hinweis des Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE zu ergänzen sowie weitere bestehende Normen zu erweitern. Mit Normen und Standards, die unmittelbar für HT- und HTLS-Leiter anwendbar sind, sowie mit der dadurch erhöhten Sicherheit für Mensch und Material können HTLS-Seile in größerem Stil dem bestehenden Netz zu mehr Flexibilität verhelfen. Diese Flexibilität brauchen Netzbetreiber, um den weiterhin ansteigenden Anteil an erneuerbaren Energien einspeisen und transportieren zu können.



Flexible Nieder- und Mittelspannungsnetze

Hochtemperatur-Freileiter bieten vor allem eine Flexibilitätsoption im Übertragungsnetz. Doch auch im Verteilnetz der Nieder- und Mittelspannungsebenen ist eine hohe Flexibilität notwendig. Das beinhaltet eine wirkungsvolle Spannungshaltung. Erreicht werden kann das zum Beispiel mit intelligenten Netzstationen. Sie können dabei helfen, dezentral erzeugte Energie in das Netz zu integrieren.

Statische Spannungshaltung - Flaschenhals der Netzintegration

Klassischerweise ergibt sich die Spannungshaltung als Nebeneffekt des Netzbaus mit passiven Betriebsmitteln. Die Auslegung der Netze und ihrer Komponenten sind dabei die entscheidenden Faktoren. Wenn aktive Betriebsmittel die Spannung steuern, kann das die Betriebsführung von Ortsnetzen verbessern und die Integration dezentral erzeugter Energie verbessern. Diese aktiven Betriebsmittel können zum Beispiel regelbare Ortsnetz-Transformatoren oder Photovoltaik-Anlagen sein. Aber auch Zusatzkomponenten wie Längsspannungsregler und eine verteilte Messtechnik gehören zu den aktiven Betriebsmitteln.

Regelbare Ortsnetzstation als Forschungsbaustein

Gemeinsam mit Forschungspartnern entwickelte die SMA AG eine regelbare Ortsnetzstation mit intelligenten Regelungs- und Betriebsverfahren für das Niederspannungsnetz. In dem dreijährigen Forschungsvorhaben entwickelten die Projektpartner unter anderem einen regelbaren und unter Last schaltbaren Ortsnetztransformator. Dieser kam in weiterführenden Forschungsarbeiten wie zum Beispiel dem Projekt Green Access, das im Rahmen der Initiative Zukunftsfähige Stromnetze noch bis Ende des Jahres 2018 läuft, zum Einsatz. Eine hohe Integration in die Verteilnetze ermöglicht es, die Energie in den Regionen zu verbrauchen, in denen sie erzeugt wird. Dies ist die Grundvoraussetzung, um die Verteilnetze mit den unterlagerten Mittelspannungsnetzen zu versorgen und die Energie in ferner gelegene Lastzentren zu transportieren – zum Beispiel mit Hochtemperatur-Freileiterseilen.

Projektbeteiligte

- » **Projektleitung:** RWTH Aachen, Institut für Hochspannungstechnik (IFHT), Tobias Frehn, frehn@ifht.rwth-aachen.de, www.ifht.rwth-aachen.de/das-ifht/
- » **Feldtest:** Tennet TSO GmbH, Bayreuth, Markus Riedl, www.tennet.eu/de/
- » **Kooperationspartner:** 3M Deutschland GmbH, Neuss, Dr. Jan-Thomas Krapp, www.3mdeutschland.de
imp GmbH, Arnsberg, Michael van Fondern, www.imp-gmbh.de

Links und Literatur

- » <http://forschung-stromnetze.info/>
Webseite der Forschungsinitiative „Zukunftsfähige Stromnetze“
- » Frehn, T.; Puffer, R.; Fondern, M. von u. a.: Hochtemperaturleiter für Freileitungen. Feldversuch, Richtlinienempfehlung und Modellbildung. Abschlussbericht zum Verbundvorhaben „HTL“. FKZ 03ET7508A. RWTH Aachen. Institut für Hochspannungstechnik (Hrsg.); Tennet TSO GmbH, Bayreuth (Hrsg.). April 2016
- » Forum Netzwerktechnik im VDE (FNN), Berlin (Hrsg.): Einsatz von Hochtemperaturleitern. Technischer Hinweis. April 2013

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Stromversorgung für 2050 modellieren. BINE-Projektinfo 02/2016
- » Stromnetz mit starker DNA. BINE-Projektinfo 15/2015
- » Stabiles Netz mit 100 Prozent Ökostrom. BINE-Projektinfo 06/2015
- » Mit Windstrom das Netz stabilisieren. BINE-Projektinfo 08/2014
- » Ländliches Stromnetz smart geregelt. BINE-Projektinfo 12/2012
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter www.bine.info/Projektinfo_13_2016

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Impressum

Projektorganisation
Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie (BMWi)
11019 Berlin

Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Ralf Eickhoff
52425 Jülich

Förderkennzeichen
03ET7508A,C

ISSN
0937-8367

Herausgeber
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut
für Informationsinfrastruktur GmbH
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autoren
Andreas Michels, Uwe Friedrich

Urheberrecht
Titelbild und Abb. 2: 3M Deutschland,
Abbildungen 1, 3–5: RWTH Aachen
Eine Verwendung von Text und
Abbildungen aus dieser Publikation ist
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion
gestattet. Sprechen Sie uns an.

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44
kontakt@bine.info

BINE Informationsdienst
Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197
53113 Bonn
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages