

# connect

---

4 CONNEX am Trafo:  
Mit Weitsicht rechnen

12 Made in Dubai: Konverterstation  
für Nordsee-Windpark



# Impressum

## Herausgeber

PFISTERER Holding AG  
Rosenstraße 44  
73650 Winterbach  
Deutschland  
Tel.: +49 7181 7005 0  
Fax: +49 7181 7005 565  
info@pfisterer.com  
www.pfisterer.com

## Redaktion Deutschland

PFISTERER Kontaktsysteme GmbH  
Rosenstraße 44, 73650 Winterbach

Helmut Burgener, Natalie Fischer,  
Eduardo Santana, Katrin Brecht,  
Thorsten Ludwig, Hans-Ulrich Lengler,  
István Kovács, Werner Medwed,  
Frank Straßner

## Textkonzeption & Textredaktion

Karolina Kos  
www.xyzeiler.de

Sympra GmbH  
Agentur für Public Relations  
Stuttgart

## Art Direction

BERNETBRANDS  
BERNET COMMUNICATION GmbH  
Stuttgart

© Copyright by PFISTERER  
Kontaktsysteme GmbH

**PFISTERER**  
**Kundenmagazin**  
Ausgabe 1 **2018**

- 4 Mit Weitsicht rechnen:  
Betrachtung der  
Lebenszykluskosten von  
Trafoanschlüssen
- 10 News: Innovative  
Lösungen aus der Welt  
der Energieversorgung
- 12 Von Dubai in die Nordsee:  
Vom Bau einer Konverter-  
plattform am Persischen Golf
- 16 Aufräumen nach Hurrikan  
Harvey: SICON bringt Strom  
nach Houston zurück
- 18 Mit der Bahn nach  
Budapest: TENSOREX  
sorgt für die richtige  
Spannung am Fahrdraht



Martin Billhardt

Editorial

## **Liebe Leserin, lieber Leser,**

die PFISTERER Gruppe befindet sich in spannenden Zeiten. Ich freue mich, dass ich diese Zeiten als Vorstandsvorsitzender mitgestalten kann. Seit fast 100 Jahren steht der Name PFISTERER für Innovation und Zuverlässigkeit in der Energieübertragung und -verteilung. Das wird auch in Zukunft so bleiben.

Die Erschließung neuer Märkte, zum Beispiel in den USA, und eine starke Rolle von PFISTERER im Bereich Wind-Offshore sind nur zwei Zukunftsprojekte, die mir besonders am Herzen liegen. Dazu lesen Sie auch in dieser connect.

Gleichzeitig geht der Aufbau unserer zentralen Fertigung und Logistik in Kadaň weiter. Dabei läuft nicht immer alles optimal. Das haben vielleicht leider auch Sie in den vergangenen Monaten zu spüren bekommen. Für diese Umstände möchte ich mich an dieser Stelle entschuldigen. Wir arbeiten mit voller Kraft daran, die Probleme zu lösen.

Aber Sie können sicher sein: Sie als Kunde stehen stets im Mittelpunkt unseres Handelns. Wir arbeiten jeden Tag hart für die Zuverlässigkeit und den Service, den Sie von PFISTERER erwarten.

Herzlichst

Martin Billhardt

Vorstandsvorsitzender  
PFISTERER Holding AG

# Mit Weitsicht rechnen.

**Bau und Betrieb von Energie-Infrastruktur im Bereich Hochspannung sind kostenintensiv. Verschwindend wenig im Verhältnis dazu zahlt man für Anschlüsse von Stromnetzanlagen wie Leistungstransformatoren. Dennoch sind Anschlüsse nicht beliebig austauschbar. Vielmehr lohnt es sich, verschiedene Lösungen mit Blick auf ihre lebenslange Kostenwirkung zu vergleichen. Denn die Kaufentscheidung für ein fortschrittliches Anschluss-System kann kosteneffiziente Wege des bedarfsgerechten Anlagendesigns und -einsatzes eröffnen. Und gleichzeitig mehr Sicherheit geben. So, wenn man mit CONNEX kalkuliert. Egal, wie man rechnet – ob mit Fakten, Unbekannten, Möglichkeiten. Praxisnahe Ansätze für Kostenbetrachtungen bieten weltweite Betriebserfahrungen.**

Die Gesamtkostenbetrachtung bei Kaufentscheidungen für Investitionsgüter hat in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen gegenüber dem engen Fokus auf den Anschaffungspreis. Auch bei Netzanlagen. Nicht umsonst.

## **Einsparungen schlagen Preis.**

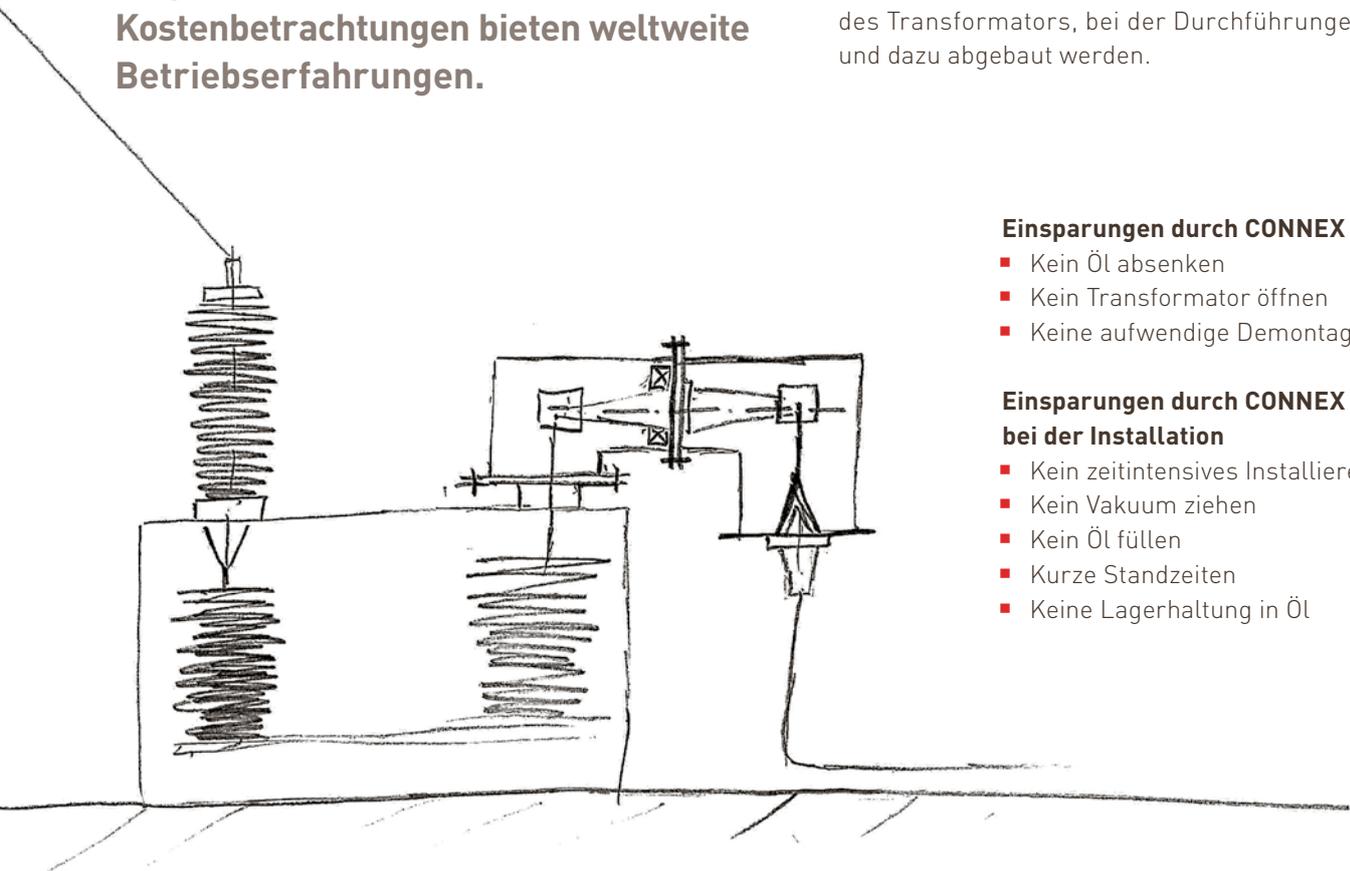
Ein Kostenüberschlag für 145-kV-Durchführungen im Einsatz an einem Wechselstrom-Transformator: Der Anschaffungspreis für drei konventionelle Durchführungen beträgt etwa 60 % von dem für drei steckbare CONNEX Durchführungen. Dennoch: CONNEX kostet spürbar weniger an nicht wenigen Lebenszyklusstationen. Wertvolle Zeit zum Beispiel: Maximal 1 Stunde Montagezeit pro HV-CONNEX Durchführung, circa 3 Stunden für je eine konventionelle Hochspannungsdurchführung – so die Faustformel aus Erfahrungen von Monteuren weltweit. Dazu kommen weitere für klassische Durchführungen spezifische Aufwände. Alles Kosten, die sich unvermeidlich addieren, da in einem Transformatorleben Durchführungen mehrfach installiert und/oder demontiert werden müssen – inklusive aufwendiger Ölarbeiten wie Befüllen und Vakuumziehen: Noch vor Auslieferung des Transformators bei seiner werkseitigen Prüfung mit Anschlusskomponenten. Dann für Versand und Transport. Bei Montage und Inbetriebnahmetest am Einsatzort. Spätestens nach 25 Jahren zwecks Revision bei halber Lebensdauer des Transformators, bei der Durchführungen geprüft und dazu abgebaut werden.

## **Einsparungen durch CONNEX im Werk**

- Kein Öl absenken
- Kein Transformator öffnen
- Keine aufwendige Demontage

## **Einsparungen durch CONNEX bei der Installation**

- Kein zeitintensives Installieren
- Kein Vakuum ziehen
- Kein Öl füllen
- Kurze Standzeiten
- Keine Lagerhaltung in Öl





Die steckbaren HV-CONNEX Anschlüsse werden bei der Montage vor Ort einfach eingesteckt. Das Geräteanschlussstück ist werkseitig fest im Transformator verbaut.



**CONNEX:** Kürzere Montagezeit und Bauvorteile wirken positiv auf die Lebenszykluskosten.

Was man durch die Montagefreundlichkeit der CONNEX Durchführungen bis dahin einspart, kompensiert ihren Mehrpreis nahezu komplett. Unter anderem dank der Stecktechnik: Schnittstelle für jede Durchführung ist je ein CONNEX Geräte-Anschlussstück, fix verbaut im Betriebsmittel. Beim Anlagenanschluss steckt man die Durchführung hinein – fertig. Ebenso leicht lassen sich CONNEX Durchführungen demontieren – einfach ausstecken. Beides passiert ohne aufwendige Ölarbeiten. Und schont Betriebsmittel, Nerven und Budget.

Mit Berücksichtigung dieser üblichen Kosten bleibt bei Entscheidung für die steckbaren CONNEX Durchführungen gegenüber konventionellen Durchführungen ein kleiner Restbetrag übrig – und der macht sich vielfach bezahlt als gezielte Investition in die Abwehr von Anlagenschäden, Standzeiten und Versorgungsausfällen. „Das CONNEX Stecksystem eliminiert reale Risiken, die klassische Anschlüsse prinzipbedingt begleiten“, erklärt Eduardo Santana, Director Business Unit Power Transmission Solution Cable bei PFISTERER. „Das CONNEX Anschlussstück bildet mit dem Transformator eine werkseitig geprüfte geschlossene Einheit, die lebenslang unangetastet bleiben kann. Herkömmliche Lösungen dagegen kann man nur bei offenem Transformator anschließen und demontieren. Fällt dabei versehentlich eine Mutter oder Schraube in das Aktivteil, muss sie entfernt werden, um Trafoschäden zu vermeiden. Bis der betriebsgerechte Zustand wiederhergestellt ist, können bis zu sechsstelligen Zusatzkosten auflaufen.“

Verlorene Kleinteile bei der Durchführungsmontage bilden eine relativ klar umreißbare Gefahr für die Anlagenintegrität.

In der Betriebspraxis muss man mit vielen weiteren Risiken rechnen. Sie können jederzeit eintreten, ihre Auswirkungen sind schwer einschätzbar. Blitzeinschlag, durch Tiere hervorgerufene Kurzschlüsse, Vandalismus, Sturm usw. Was auch immer den Stromfluss stören mag, sicher ist: Anlagenstörungen kosten oft mehr als ihre Behebung. Mit schnell deinstallierbaren und montierbaren CONNEX Anschlüssen macht man im Ernstfall wertvolle Zeit gut.

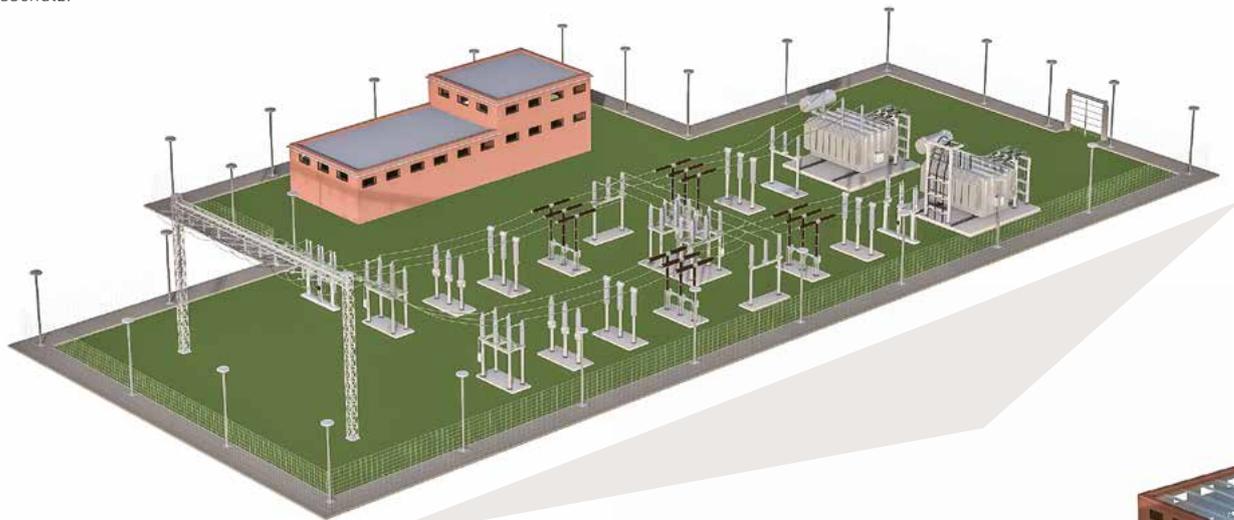
#### **An Kosten führt kein Rechenweg vorbei. Am Ende muss das Ergebnis stimmen.**

„Gesamtkosteneffekte lassen sich nicht allgemeingültig exakt fassen, da abhängig von vielen Faktoren wie Berechnungsmodell, zum Beispiel Total Cost of Ownership oder Life Cycle Costing, Kostenrahmenbedingungen, Umweltgegebenheiten, Betreiberphilosophie, Anlagenspezifikation und so fort“, erläutert Eduardo Santana. „Aber egal, wie man im Detail rechnet, entlang individuell bestimmter Kostenursachen sind Einsparpotenziale durch CONNEX konkreter ermittelbar.“

So beim Transformator-Design mit 145-kV-Kabelanschlüssen: Der Anschluss herkömmlicher Kabelendverschlüsse an Anlagen erfordert einen Kabelanschlusskasten mit eigenem Isoliersystem. Ein sperriges Element, das wahlweise schrumpfen oder komplett entfallen kann, nutzt man CONNEX Kabelanschlüsse. Ihr Anschluss erfolgt wie bei CONNEX Durchführungen per Einstecken in CONNEX Anschlussstücke. Diese lassen sich direkt in Anlagengehäuse kompakt einbauen. Dadurch kann ein Drehstromtransformator um 5 bis 10 % günstiger hergestellt werden. Und CONNEX hilft, Platz auch dort zu sparen, wo er knapp und oft genug teuer ist.

### Inhouse-Umspannwerk ersetzt Freiluftanlage:

CONNEX ermöglicht ein vollgekapseltes und kompaktes System. So kann in Ballungszentren wertvoller Baugrund zurückgewonnen werden. Die Überspannungsableiter von PFISTERER sorgen indoor für platzsparenden und zuverlässigen Überspannungsschutz.



### Spielraum gewinnen, wo Platz wertvoll und sicherheitsrelevant ist.

Umspannwerke in Siedlungs- und Gewerbegebieten sind eine Begleiterscheinung der Verstädterung. Laut UN leben heute 55 % der Weltbevölkerung in Ballungsgebieten, bis 2050 schätzungsweise 68 %. Städte verbrauchen gegenwärtig zwei Drittel der global nachgefragten Energie. „Innerstädtische Umspannwerke bündeln hohe kostenwirksame Anforderungen. Sie sollen schlank und unauffällig sein, so unter anderem in Europa, in den USA und im Mittleren Osten zu sehen“, berichtet Eduardo Santana. „Zudem führen verbrauchernahe Standorte regelmäßig zu erhöhten Leistungs- und Sicherheitsansprüchen an Netzanlagen.“

Allein das Thema Platz für Umspannwerke ist eine potenzielle Herausforderung in urbanen Gebieten. Leistungstransformatoren sind auf rund 40 Jahre Betrieb ausgelegt – sehr viel Zeit, in der sich ihr Umfeld wandeln kann. Wo heute freiluftisolierte Anlagen noch Platz haben, müssen sie in absehbaren Jahren Inhouse-Lösungen weichen, weil neue Lebens- und Arbeitsräume entstehen oder sich strukturell verändern. Je schneller und umfassender urbane Strukturen wachsen und je dichter sie bereits gewachsen sind, umso höher fallen in der Regel Grundstückspreise im Verhältnis zum Land ins Gewicht. Anders als beim Einsatz herkömmlicher Anschlüsse kann man mit CONNEX diese Gegebenheiten technisch und rechnerisch vorteilhaft bewältigen mit einem Plus an Sicherheit



für Anlagen und Menschen. Zudem bietet eine Indoor-Lösung einen erhöhten Schallschutz, der in urbanen Gebieten eine wichtige Rolle spielt.

So im Züricher Stadtgebiet. Hier beansprucht das neue größtenteils unterirdische Umspannwerk Oerlikon des Elektrizitätswerks der Stadt Zürich (ewz) nur noch 30 % des Raums für die ursprüngliche Freiluftschaltanlage, die zurückgebaut 5.200 m<sup>2</sup> wertvollen Baugrund freigibt. Dessen Verkauf deckt den Mehraufwand für die unterirdische Bauweise. Hierbei wichtiger Hebel: der konsequente Einsatz platzsparender Technologien, darunter CONNEX für alle Hoch- und Mittelspannungsanschlüsse der zwei GIS und drei Transformatoren.

Für minimalen Raumbedarf bei maximaler Sicherheit hat PFISTERER eigens steckbare CONNEX Überspannungs-



**Kompakte Trafozelle**, für die nur beschränkter Nutzraum zur Verfügung steht.



ableiter entwickelt. Sie sind feststoffisoliert, dadurch einmalig kompakt und prädestiniert für platzsparende direkte Installation am Transformator zu dessen bestmöglichem Überspannungsschutz. Kosteneffizienten Anlagen- und Personenschutz erreicht man per Vollausrüstung von Anlagen mit CONNEX: Gekapselte CONNEX Kabelanschlüsse reduzieren die Störanfälligkeit. Sämtliche Anlagenschnittstellen sind berührungssicher, sodass Wartungspersonal schneller sicher arbeiten kann, wie im Schweizer Umspannwerk Klus.

#### **Was in Städten zählt, wiegt doppelt auf Weltmeeren.**

30 % Zuwachs der weltweit installierten Offshore-Windkraft-Kapazität auf über 18.000 MW im Jahr 2017 meldet der Renewables Global Status Report 2018. Bis 2030 erwartet Bloomberg New Energy Finance einen Anstieg auf mehr als 100.000 MW. Die Offshore-Entwicklung in den

nächsten Jahren sollen Großbritannien, Deutschland, Niederlande, Taiwan und China antreiben. In den nächsten zehn Jahren sollen sich auch die USA zu einem zentralen Markt entwickeln. Gewiss sind dabei: extreme Umweltbedingungen, hohe Risiken, enormer Kostendruck. Die Zukunftsfähigkeit der Anwendung hängt ab von technischen Fortschritten.

Als vielversprechend gilt die Erhöhung der Inter-Array-Spannung von 33 auf 66 kV. Sie soll die Gesamtkosten für die Netzanbindung eines Offshore-Windparks um bis zu 15 % senken können. So geschätzt für East Anglia ONE, den ersten Large-Scale-Windpark des Betreibers ScottishPower Renewables in der Nordsee mit 66-kV-Netz. Es verknüpft 102 Siemens-Turbinen zu je 7 MW Leistung mit zwei Konverterstationen. Die Inter-Array-See- und -Turmkabel werden von CONNEX Gießharzmuffen für Spannungen bis 72,5 kV verbunden.

Ihre Eigenschaften stehen für kostenwirksame Vorteile: Die Muffen sind sehr schnell und sicher zu installieren, da trocken isoliert, berührungssicher und steckbar. Mit isolierter Kontaktschiene für den Kabelschirm lassen sich Mantelfehlerprüfungen einfach durchführen. Sie sind überflutbar, zudem beständig gegen UV-Strahlung, Salzwasser und -luft. Ihre integrierte Längswassersperre verhindert, dass infolge eines Kabelfehlers eintretendes Wasser in das andere angeschlossene Kabel eindringt.

Ebenso bei den CONNEX 170-kV-Muffen für das Offshore-Projekt DolWin. Die Installation der Konverterplattform in der Nordsee ist ein wichtiger Projektmeilenstein von DolWin gamma, wobei General Electric im Auftrag von TenneT zwei Windparks an das deutsche Übertragungsnetz per HVDC-Leitung anbindet. Mit DolWin wurde ein Standardverfahren für den Serienbau von Konverterstationen entwickelt – ein wegweisender Schritt Richtung rentable Gleichstromleitungen für die verlustarme Stromübertragung über weite Distanzen.

Anspruchsvolle Hürden nahm dafür ein Montageteam von PFISTERER: Neben 170-kV-Gießharzmuffen und Kabelgarnituren aus dem CONNEX Programm verlegte es 16-kg/m-schwere, hochflexible 155-kV-Kabel über mehrere Plattformebenen und durch vorbelegte, extrem niedrige Räume mit teilweise nur 1 m Höhe. „Erfahrung für Effizienz bei komplexen Kabelzügen bringen unsere Montagespezialisten auf Baustellen ebenso ein wie bei Schulungen – für beliebige Kabel, querschnittsunabhängig“, sagt Vukasin Basara, Projektleiter bei PFISTERER.

„CONNEX verbindet alle gängigen Kabel, was ihre kostenoptimierte Auswahl begünstigt, und ist ausgereift für profitable Stromgewinnung auf See. Das System reduziert Zeitaufwände, Platzbedarf, Risiken für Anlage, Mensch und Umwelt, ist zertifiziert von der Klassifikationsgesellschaft DNV GL für Offshore-Einsätze und darin bewährt.“

### Flexibilität als entscheidender Faktor.

Herausforderungen gibt es für Anlagenbetreiber überall. Jedes Netz muss man früher oder später modernisieren, reparieren, erweitern, zurückbauen, verstärken. Zusätzliche Dynamiken entstehen, wo Stromversorgung neue Wege geht, zum Beispiel infolge zunehmender Nutzung von erneuerbaren Energiequellen. Nicht überall ist klar, wie Netze in 5, 10, 20 Jahren aussehen werden. Dem stehen Konstanten gegenüber: Transformatoren und Schaltanlagen sollen über Jahrzehnte möglichst effizient im Einsatz sein. Und Strom soll zuverlässig fließen. Wie bekommt man Flexibilität und Stabilität auf einen Nenner? Die Summe aus geldwerten Produktvorteilen und von PFISTERER abrufbaren Lösungskompetenzen qualifiziert CONNEX als Schlüsseltechnologie bei der Realisierung kosteneffizienter Innovationen für Versorgungssicherheit. Drei Beispiele:

Notfall-Transformatoren von Siemens für zwei große US-amerikanische Stromversorger sollen Blackouts und immense Folgeschäden verhindern. Dafür schaffen sie binnen 96 Stunden, was üblicherweise Monate dauert: Ersatz für einen ausgefallenen Leistungstransformator. Eine entscheidende Eigenschaft hierfür, neben Transport- und Montagefreundlichkeit, nennt Peter Müller, Regional Sales Manager bei PFISTERER: „Für netzweite Einsetzbarkeit müssen die Transformatoren verschiedene Spannungsstufen und Anschlüsse bedienen. Mit CONNEX ebenfalls machbar. Das System deckt Spannungen bis 550 kV ab. Sein Herzstück, das geräteseitige Anschlussstück, lässt sich bedarfsgemäß belegen mit Durchführung, Kabelstecker, Überspannungsableiter, Prüfadapter oder Blindstecker.“

Für die Modernisierung einer ringförmigen 115-kV-Übertragungsleitung im US-Bundesstaat Virginia wagte Dominion Energy 2017 ein Novum in Nordamerika: Statt eine temporäre Freileitung als Überbrückung zu errichten,

investierte der Energieversorger in eine mobile 230/115-kV-Umspannstation. PFISTERER lieferte CONNEX Kabelanschlüsse und IXOSIL trockene Endverschlüsse für die Verbindung der mobilen GIS- und Transformatoreinheiten. Ihren Ersteininsatz absolvierten sie einwandfrei. Die Umspannstation trug die volle Leitungslast vier Monate lang ohne Störung. Resümee des Betreibers: Mindestens sechs Monate Bauzeit wurden vermieden, die Einmalkosten für die Umspannstation betragen ungefähr 30 % der Gesamtkosten für eine temporäre Freileitung. Diese Einsparungen decken nahezu 40 % der Anschaffungskosten für alle mobilen Einheiten. Mit nur einer weiteren Anwendung dieser Größenordnung sind diese bezahlt.

Auf vielseitige stationäre Anlagen für ein Netz im Wandel setzt die AVU Netz GmbH. Der deutsche Netzbetreiber spezifizierte für die Anschaffung neuer 110/10-kV-Transformatoren ein Schnittstellen-Konzept mit CONNEX an allen Phasen und Sternpunkten. Ergebnis: Eine Bauform für drei Anschlusskonstellationen – Durchführung, Kabel, Wanddurchführung – netzweit integrierbar ohne Umbauten. Reduzierte Beschaffungs- und Lageraufwände inklusive.



**66-kV-Inter-Array-Verkabelung:** PFISTERER Lösungen senken die Gesamtkosten für die Netzanbindung eines Offshore-Windparks.





Offshore-Plattform DolWin gamma beim Ausschiffen in Warnemünde im Juni 2017. Hier wurden erstmals hochflexible 155-kV-Kabel mit steckbaren CONNEX Anschlussgarnituren installiert.



#### Schlüsselfertige Kabelanlagen für DolWin gamma.

Die extrem biegsamen Feltflex-Kabel verlaufen über mehrere Plattform-Ebenen und sind mit CONNEX an die gasisolierte Schaltanlage angeschlossen.



#### Mobile Umspannstation statt temporäre Freileitung:

Dominion Energy geht mit PFISTERER neue Wege bei der Netzerneuerung.

#### Schnell. Schlank. Sicher. Flexibel mit System.

Ergebnis unterm Strich? Die Effekte von Anschlusskomponenten auf die Gesamtkosten von Transformatoren und Schaltanlagen sind vorhanden und nicht zu unterschätzen: Mit herkömmlichen Anschlüssen nimmt man die genannten Aufwände und Risiken in Kauf. Mit einer fortschrittlichen Lösung kann man sie reduzieren oder sogar ausschließen. Mit ersteren sind die Anschlussoptionen beschränkt. Ein System mit universeller Schnittstelle und vielen verschiedenen steckbaren Komponenten dagegen vervielfacht die Einsatzmöglichkeiten der Anlage. Und bietet mehr Sicherheit. Ausschlaggebend ist, ob man Anschlusslösungen mit Blick auf diese Optionen bewertet und für welche man sich entscheidet. „CONNEX kostet nur den Bruchteil einer Netzanlage, gleichzeitig rationalisiert es ihren Betrieb, schützt ihren Bestand und flexibilisiert ihren Einsatz jahrzehntelang – für Standard- und Ausnahmesituationen, unter normalen wie erschwerten Bedingungen“, schließt Santana. „Summa summarum: CONNEX rechnet sich.“

## CrossPower versorgt Schule in Tansania mit Strom



Die St. Aquinas Secondary School wird in Zukunft von einem CrossPower System mit elektrischem Strom versorgt. Die Hochschule in Tansania (Afrika) erhält ein 35-kW-System mit 20-kW-Photovoltaik-Anlage. Finanziert wird das Projekt aus privaten Spenden. Der Schulkomplex mit sechs Gebäuden wird aktuell nur unzuverlässig durch eine Leitung des örtlichen Energieversorgers und eine veraltete Solaranlage versorgt. Das neue CrossPower System ermöglicht eine zuverlässige und autarke Stromversorgung rund um die Uhr. Das System, bestehend aus Energiemanagementsystem, einem 35-kWh-Batteriespeicher und einem 25-kW-Systemwechselrichter ist in einem 20-Fuß-Container verbaut. Die neue PV-Anlage wird auf dem Dach eines Gebäudes installiert. Der Anschluss der einzelnen Anlagenteile erfolgt mit PFISTERER Plug&Operate-Komponenten. Die St. Aquinas Secondary School liegt rund vier Kilometer vom Zentrum der Hafenstadt Mtwara vom Indischen Ozean entfernt. Die Schule für Mädchen und Jungen wird von den Missions-Benediktinerinnen Tutzing (Deutschland) betrieben.

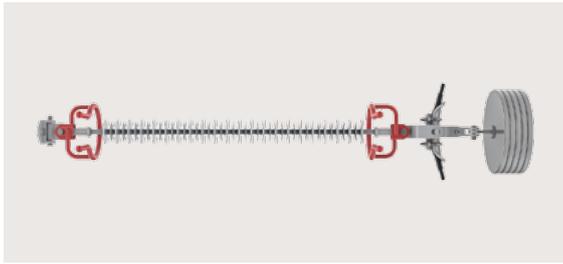
### SERVICE

## Sicherheit beim Freileitungsbau

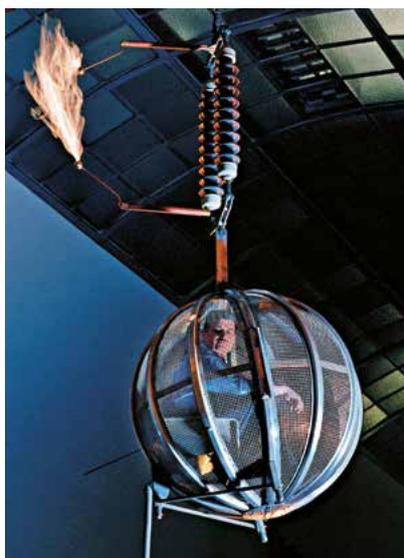


Sicherheit am Arbeitsplatz ist wichtig, auch für Hochspannungs-Freileitungs-Monteure. PFISTERER bietet in diesem Bereich kostenlose Sicherheitsschulungen. Dabei geht es auch um die richtige Montage und Wartung von Nutzenkeil-Arbeitsklemmen. Mit Hilfe dieser Klemmen werden die oft tonnenschweren Freileitungsseile auf die Masten gezogen. Sind diese Klemmen nicht richtig montiert oder nicht in einwandfreiem Zustand, steigt das Unfallrisiko. „Derartige Hilfsmittel sind nicht genormt und unterliegen keiner ständigen Kontrolle“, erklärt Werner Medwed vom PFISTERER OHL Team Deutschland. Gleichzeitig unterstreicht er die Sicherheitsrelevanz dieser Hilfsmittel. „Wir stellen vermehrt fest, dass beschädigte oder kaputte Nutzenkeil-Arbeitsklemmen zum Einsatz kommen“, so Medwed. Oft sind die Klemmen 20 oder 30 Jahre alt. Das ist bei richtiger Handhabung und Wartung kein Problem. Nicht selten wird jedoch auf die nach jedem Einsatz erforderliche Reinigung und Fettung verzichtet. Oder die Klemmen werden bei der Demontage mit einem Stahlhammer bearbeitet. „Dabei können die Klemmen kaputtgehen und werden zum Risikofaktor bei der Freileitungsmontage“, warnt Werner Medwed. Im Rahmen der Sicherheitsschulungen bietet PFISTERER auch eine optische Prüfung der Nutzenkeil-Arbeitsklemmen an.

## Silikon ersetzt Porzellan am Hochspannungsmast



In die Jahre gekommene Keramikisolatoren durch Verbundisolatoren zu ersetzen war bislang mit erheblichem Aufwand und hohen Kosten verbunden. PFISTERER hat in Zusammenarbeit mit dem Schweizer Netzbetreiber BKW Energie AG eine 145-kV-Kurzkette entwickelt, die Kosten und Aufwand für eine Leitungsrevision erheblich reduziert. Die Umrüstung von Porzellan- auf Silikonisolatoren erfordert nun keine Änderung des Mastdesigns mehr und somit auch keine neuen Genehmigungsverfahren. Kernfeature der Kurzkette ist eine innovative Befestigung der Schutzarmaturen am Isolator. Sie ermöglicht eine Befestigung auf der Gabel und kommt ohne Doppelöse aus. So können Kettenteile eingespart und die Gesamtlänge um bis zu 240 mm reduziert werden. Die Gesamtkette wurde mit 40 kA/1s erfolgreich im Labor getestet und ist patentiert. Aktuell werden die neuen Kurzketten bei einem Pilotprojekt der BKW montiert.



Das Deutsche Museum in München erhält für seinen Faradayschen Käfig neue Silikonisolatoren von PFISTERER. Bei der täglichen Hochspannungsvorführung wird die abschirmende Wirkung des Faradayschen Käfigs gegen elektrische Felder besonders eindrucksvoll nachgewiesen. In der gegen Erde isolierten Drahtgitterkugel kann ein Besucher Platz nehmen, danach wird die Kugel auf Hochspannungspotenzial gebracht. An einer 70 cm langen Funkenstrecke kommt es bei etwa 270 kV zum Durchschlag. So wird die Hochspannung auch für Laien sichtbar. Die Isolation der Kugel gegen die Traverse ist über zwei parallel nebeneinander angeordnete Langstab-Isolatoren gesichert. Nach einwandfreiem Betrieb über 66 Jahre sollten die Isolatoren nun geprüft werden. Dies ist bei Keramikisolatoren zerstörungsfrei nicht möglich. Auf Anraten von PFISTERER wurden die Keramikisolatoren deshalb durch neue Rodurflex-Verbundisolatoren ersetzt. Die bisher eingesetzten Keramikisolatoren wurden Ende 1952 im damaligen Stemag Werk in Wunsiedel (Deutschland) produziert. Nach mehreren Eigentümerwechseln gehört dieses Werk heute LAPP Insulators und damit zur PFISTERER Gruppe. Die neuen Verbundisolatoren wurden jetzt wieder in Wunsiedel hergestellt.

## Sicherer Halt für Wetterstationen am Freileitungsmast

Bei der Energieübertragung per Freileitung spielt das Wetter eine immer wichtigere Rolle. Zum einen haben die Schäden durch Unwetter in den letzten Jahren zugenommen, zum anderen gibt es europaweite Forschungsprojekte zu dynamischem Thermorating oder zur dynamischen Kapazitätsauslastung. Dabei soll der Stromtransport in Überlandleitungen auf das aktuelle Wetter abgestimmt werden. So könnten durch Wind und niedrige Temperatur gekühlte Leiterseile temporär deutlich mehr Leistung übertragen. Um die Wetterdaten möglichst genau zu erfassen und um daraus präzise Prognosen zu erstellen, werden Freileitungsmasten mit Wetterstationen ausgestattet. PFISTERER bietet dafür eine spezielle Haltevorrichtung. Sie besteht aus drei Teilen und ist mit jedem Mast ab 110 kV kompatibel. Für ein Pilotprojekt wurden jetzt 50 Vorrichtungen für den deutschen Netzbetreiber Amprion produziert und ausgeliefert.



## Neue Isolatoren fürs Deutsche Museum

Das Deutsche Museum in München erhält für seinen Faradayschen Käfig neue Silikonisolatoren von PFISTERER. Bei der täglichen Hochspannungsvorführung wird die abschirmende Wirkung des Faradayschen Käfigs gegen elektrische Felder besonders eindrucksvoll nachgewiesen. In der gegen Erde isolierten Drahtgitterkugel kann ein Besucher Platz nehmen, danach wird die Kugel auf Hochspannungspotenzial gebracht. An einer 70 cm langen Funkenstrecke kommt es bei etwa 270 kV zum Durchschlag. So wird die Hochspannung auch für Laien sichtbar. Die Isolation der Kugel gegen die Traverse ist über zwei parallel nebeneinander angeordnete Langstab-Isolatoren gesichert. Nach einwandfreiem Betrieb über 66 Jahre sollten die Isolatoren nun geprüft werden. Dies ist bei Keramikisolatoren zerstörungsfrei nicht möglich. Auf Anraten von PFISTERER wurden die Keramikisolatoren deshalb durch neue Rodurflex-Verbundisolatoren ersetzt. Die bisher eingesetzten Keramikisolatoren wurden Ende 1952 im damaligen Stemag Werk in Wunsiedel (Deutschland) produziert. Nach mehreren Eigentümerwechseln gehört dieses Werk heute LAPP Insulators und damit zur PFISTERER Gruppe. Die neuen Verbundisolatoren wurden jetzt wieder in Wunsiedel hergestellt.

# Einmal Dubai und zurück

Es ist ein ungewöhnlich weiter Weg für die Konverterplattform BorWin gamma bis zu ihrem Bestimmungsort: Die Offshore-Plattform wurde in Dubai gebaut, bevor sie ihre Reise in die Nordsee antrat. Mit seinem lokalen Team vor Ort lieferte und installierte PFISTERER in einer Komplettlösung zuvor die gesamte 155-kV-Verkabelung und sorgte auch für die hochseetaugliche Sicherung der Endverschlüsse während der Überfahrt.

Rund 130 km nördlich vor der deutschen Nordseeküste errichtet der Betreiber TenneT die Konverterstation BorWin gamma zur Netzanbindung der beiden Offshore-Windparks Global Tech I und EnBW Hohe See. Der auf See erzeugte Drehstrom wird in ihr in Gleichstrom umgerichtet und dann über die rund 160 km lange und 900 MW starke Hochspannungsgleichstromverbindung (HGÜ) BorWin3 zum Netzanschlusspunkt Emden/Ost übertragen. Gebaut wurde die Konverterplattform von der Werft Drydocks World in Dubai im Auftrag des Hersteller-Konsortiums Petrofac/Siemens. „Das ist eine Besonderheit des Projekts, denn nach dem Bau in Dubai tritt die Konverterplattform eine lange Seereise in die Nordsee an, bevor sie dort fest verankert wird“, berichtet Hans-Ulrich Lengler, Senior Project Manager von PFISTERER. Petrofac, spezialisiert auf Öl&Gas- sowie Offshore-Projekte, beauftragte PFISTERER 2016 mit der Komplettlieferung und der Installation des offshore-tauglichen 155-kV-Teils der Plattform, inklusive 155-kV-Kabeln, Link-Boxen, Kabelklemmen und 71 HV-CONNEX Endverschlüssen zur Anbindung der gasisolierten Schaltanlage (GIS) und der Seekabel sowie der Transformatoren-Verbindung.

## Erfahrenes Team in Dubai vor Ort

Wichtige Vorteile für den Kunden und das reibungslose Gelingen waren zwei Dinge: Erstens bietet PFISTERER mit seiner Systemgruppe einen zentralen Ansprechpartner für die Beschaffung sowohl der Garnituren als auch der Kabel und Dienstleistungen. Zweitens verfügt PFISTERER



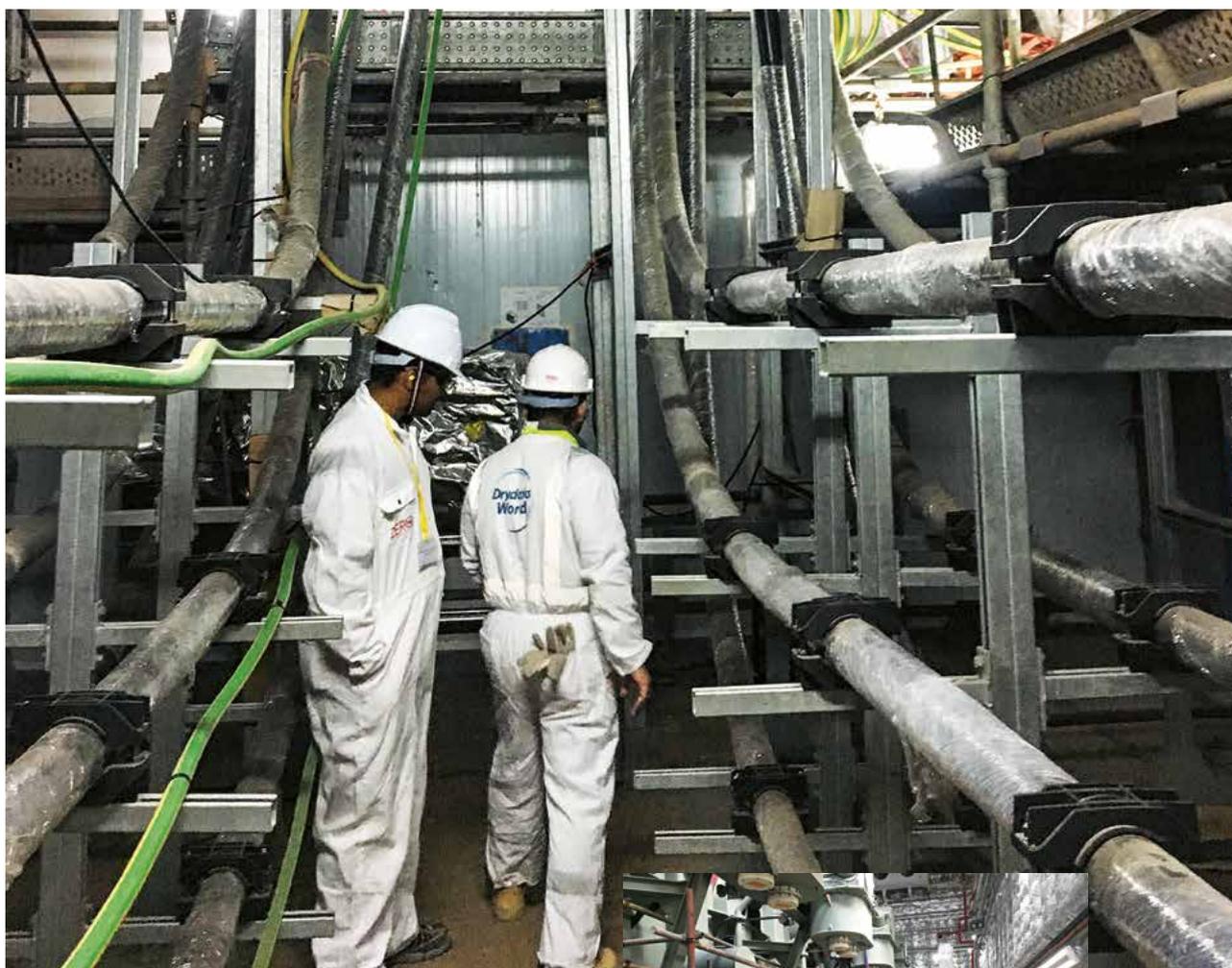
**Drydocks Dubai:** Die Werft ist eine der größten ihrer Art im Nahen Osten und ein bevorzugter Ort für Schiffsneu- und -umbauten sowie den Offshore-Bau. Rund 350 Schiffe werden hier jedes Jahr gebaut, die meisten davon Riesentanker (VLCC) und -containerschiffe (ULCC). Zunehmen sollen hier auch Konverterplattformen für die weltweite Offshore-Windenergiegewinnung gebaut werden.



Die Plattform im Hafen von Dubai: Arbeiten bei über 40 °C.



**HV-Kabelanlagen im Inneren der Plattform.** Die Kabel sind abgedeckt, um sie vor Hitze und Staub zu schützen.



Fünf Monate arbeitet das PFISTERER Team an der Installation der 155-kV-Garnituren und dem Anschluss der GIS. Erstmals kamen dabei auch Kupferkabel mit 2.500 mm<sup>2</sup> Querschnitt auf einer Plattform zum Einsatz – mit einem Gewicht von 32 kg/m und einem Biege-radius von 3 m.



über ein lokales, erfahrenes Montageteam vor Ort, das die Bauleitung und Montage flexibel und kostengünstig übernehmen kann – also ein Gesamtpaket aus Technik, Montage, lokaler Betreuung vor Ort und Expertise bei Engineering und Design. Damit ist PFISTERER in der Lage, seine Kunden weltweit effizient bei ihren Projekten zu unterstützen. „Wir sind bereits seit elf Jahren mit unserer eigenen Mannschaft in Dubai aktiv und übernehmen Materiallieferungen und Montagen z.B. in Umspannwerken im gesamten Nahen Osten oder beliefern Kabellinien mit Muffen einschließlich ihrer Montage“, erzählt Thorsten Ludwig, Regional Sales Manager in der PFISTERER Branch Dubai. Er selbst ist seit sechs Jahren in Dubai dabei. „Die lokale Erfahrung spielt in unserer Region eine wichtige Rolle. Wir sind vertraut mit den örtlichen

Gegebenheiten, mit der Mentalität und den klimatischen Bedingungen.“ Und auch der Auftraggeber Petrofac hatte bereits gute Erfahrungen in der Zusammenarbeit mit PFISTERER bei MV-Projekten in Abu Dhabi gemacht. Dennoch waren beim Projekt BorWin gamma besondere Herausforderungen durch das Team zu meistern. Zwar sind die Monteure Arbeiten in Umspannwerken in Dubai gewohnt, doch die Installation auf einer noch im Bau befindlichen Offshore-Plattform ist eine ganz andere Herausforderung. Mehrere Gewerke arbeiten zeitgleich auf beengtem Raum und müssen koordiniert werden, außerdem besteht ein hoher zeitlicher und bürokratischer Aufwand für die Sicherheitschecks der Mitarbeiter und die Anmeldung jeglicher Werkzeuge vor dem Betreten der Docks.

### Fünf Monate volle Kraft

Hinzu kam ein hoher zeitlicher Druck, denn für die Hafenausfahrt der Konverterplattform zur Verschiffung standen lediglich zwei mögliche Timeslots zur Verfügung. Es musste also alles nach Zeitplan funktionieren. Fünf Monate arbeitet das Team an der Installation der 155-kV-Garnituren. Erstmals kamen dabei neben Kabeln mit 800 mm<sup>2</sup> auch Kupferkabel mit 2.500 mm<sup>2</sup> Querschnitt auf einer Plattform zum Einsatz – mit einem Gewicht von 32 kg/m und einem Biegeradius von 3 m. Insgesamt 15 Teilstücke davon, jeweils mit einer Länge von 30–40 m verbinden die GIS mit dem Seekabel, sobald die Konverterplattform einmal verankert ist. Rund 3 km Kabel mit 800 mm<sup>2</sup> Querschnitt dienen zur Verbindung der gasisolierten Schaltanlage auf der oberen Ebene mit den Trafos auf der darunterliegenden Ebene der Plattform. „Insgesamt installierte das Team 45 CONNEX Endverschlüsse (Gr. 6s) für die GIS/Trafo-Verbindung sowie 26 CONNEX Endverschlüsse zur Anbindung der Seekabel“, erklärt Thorsten Ludwig. „Ohne unser erfahrenes Team wäre die Installation in dieser Zeit nicht mit dem erforderlichen

Standard möglich gewesen.“ Die Siemens-Schaltanlage wurde bereits ab Werk nach Vorgabe von TenneT mit CONNEX Geräteanschlusssteilen ausgestattet. Das CONNEX System von PFISTERER ist das einzige offshore-zertifizierte System für die Spannungsebene 155 kV.

### Hochseetauglich fest und sicher

Die letzte Herausforderung für die Technik besteht nun noch laut Hans-Ulrich Lengler in der langen Seereise in die Nordsee: „Für die Verschiffung muss alles sehr stabil ausgelegt sein, da die mechanische Belastung auf See sehr hoch ist und Vibrationen und Schwingungen gegebenenfalls die Steckverbindungen lockern oder gar lösen könnten – anders als bei bereits fest verankerten Plattformen.“ Deshalb empfahl und installierte PFISTERER Kompensationsschellen zur Zugentlastung. Sie sorgen dafür, dass die Bewegungen der Kabel ausgeglichen und mechanische Spannungen nicht auf den Endverschluss und das Geräteanschlusssteil übertragen werden. Und auch bei der Auslegung der Kabeltragesysteme für die 2.500-mm<sup>2</sup>-Kabel konnte das Team vor Ort hilfreich beraten, denn aufgrund ihres hohen Gewichts benötigen sie ein besonderes Tragesystem. Nach der erfolgreichen Installation aller Komponenten steht der Fahrt der Konverterplattform BorWin gamma in die Nordsee technisch nun nichts mehr im Wege. Die Inbetriebnahme wird voraussichtlich im kommenden Jahr erfolgen.



**Geflutete Straßen, zerstörte Häuser:** Hurrikan Harvey war eine der teuersten Naturkatastrophen in den USA und auch für Energieversorger eine große Herausforderung. Um die Schäden im Städtetz von Houston in kürzester Zeit zu beheben, setzte CenterPoint Energy zum ersten Mal das Kabelverbinder-system SICON von PFISTERER ein. Zukünftig will der texanische Strom- und Gasnetzbetreiber die einfach zu montierende Schraubtechnik für Kabelverbindungen zum Standard machen. Damit liegt er im Trend. Immer mehr Unternehmen in den USA und Kanada setzen auch im Niederspannungsbereich auf SICON, weil es sicher, schnell und zuverlässig funktioniert.



Die SICON Anschluss-technik ist seit längerem in den USA und Kanada bei Mittelspannungskabeln mit 15 kV bis 35 kV und Übertragungskabeln mit 45 kV bis 170 kV verbreitet. Das Herzstück aller SICON Verbinder ist die patentierte stufenlose Abreißschraube, die ohne Sollbruchstelle im Gewinde auskommt. Automatisch reißt die Schraube bei der Montage immer an der richtigen Stelle in Höhe der Oberkante des Verbindungskörpers ab. So entstehen keine scharfkantigen Überstände. Das zweite besondere Bauteil des SICON Verbinders ist der am Schraubenende integrierte drehbare Druckteller.



**Kabel verbinden – einfach gemacht:** SICON Verbinder verbinden alle Kabel, unabhängig von Leitermaterial und -bauform.

# „Houston, Problem gelöst“ – USA setzen SICON erfolgreich im LV-Bereich ein



Überflutete Straßen in Houston nach Hurrikan Harvey. Als das Wasser abgeflossen war, wurde das Stromnetz – auch mit Hilfe von SICON Schraubverbindern – wieder instand gesetzt.



Für jede Anwendung der richtige SICON Verbinder. Hier als Kontaktelement im Außenkonusstecker.

Er verhindert beim Anziehen das Schaben über den Leiter, sodass selbst feinste Einzeldrähte bei der Montage unbeschädigt bleiben. Beide Funktionselemente gemeinsam gewährleisten einen optimalen elektrischen Kontakt unabhängig von der Art und Beschaffenheit des Leiters. Zudem ist SICON so konstruiert, dass es einfach in nur einem Arbeitsgang montiert werden kann.

### In Nordamerika auf Platz eins

Die technische und praktische Überlegenheit von Schraubverbindern gegenüber Pressverbindern erkennen immer mehr Energieversorger auch für den Einsatz im Niederspannungsbereich, in dem Kabel mit niedriger Spannung, aber höherer Stromstärke verbunden werden. In diesem Marktsegment stieg die Nachfrage in den USA und Kanada nach SICON im vergangenen Jahr um 60 %. Für 2018 zeichnet sich ein ähnliches Umsatzplus ab. Mittlerweile ist SICON der am meisten verwendete Schraubverbinder in Nordamerika. PFISTERER bietet ihn in Kooperation mit den führenden Garniturenherstellern 3M, Richards, Eaton und Prysmian an. Zu den Kunden, die SICON in unterschiedlichen Anwendungen einsetzen, gehören beispielsweise die Übertragungsnetzbetreiber AEP in Ohio und National Grid mit seinem Gas- und Elektrizitätsnetz in New York sowie Toronto Hydro, der zweitgrößte kanadische Stromversorger.

### In nur 48 Stunden wieder im Normbereich

CenterPoint Energy (CNP) war ursprünglich auf SICON aufmerksam geworden, als es nach einer Alternative zum Lötten von Leitern suchte. Diese Arbeit ist für die Mitarbeiter riskant und belastet sie durch Hitze und Rauch. CNP wollte jedoch keine Kompromisse bei der Zuverlässigkeit der Kabelverbindung machen. Deswegen ließ es die Schraubverbinder von einem unabhängigen Kabellabor untersuchen. Die Ergebnisse waren so überzeugend, dass umgehend 50 Schraub- und Abzweigverbinder aus der SICON-Familie bestellt wurden. „Wir planten, SICON nicht nur für unsere bis dahin primär handgefertigten Lötstellen zu verwenden, sondern auch für die Verbindung unserer 400-mm<sup>2</sup>-Kupferleitungen im Schachtsystem“, berichtet David Mathes, Operation Manager in der Abteilung Major Underground bei CNP. Doch bevor es dazu kam, überflutete Hurrikan Harvey den nördlichen Teil von Houston. Nur mit erheblicher Anstrengung gelang es, die Energieversorgung in der Innenstadt aufrechtzuerhalten. Als das Wasser wieder abfloss, stellte CNP einen Spannungsverlust fest, verursacht durch Schäden an den Niederspannungskabeln. Zunächst wurden die Kabel auf herkömmliche Art und Weise durchtrennt und ersetzt. „Um diesen langwierigen Prozess zu beschleunigen, entschieden wir, SICON Verbinder einzusetzen. Innerhalb von nur 48 Stunden war die Reparatur der Störstellen in fünf Häuserblocks abgeschlossen und alle Dienste in den normalen Spannungsbereich zurückgeführt. Seitdem funktioniert das Stromnetz reibungslos und wir arbeiten daran, SICON zur Standardlösung zu machen“, erklärt David Mathes. Damit hat SICON sein technisches Konzept für den Niederspannungsbereich nicht nur in zahlreichen Tests erfolgreich unter Beweis gestellt, sondern auch im praktischen Einsatz.



**SICON Abzweigverbinder:** Die patentierten Abreißschrauben scheren gratfrei ab und lassen sich direkt nach der Montage überschrumpfen.



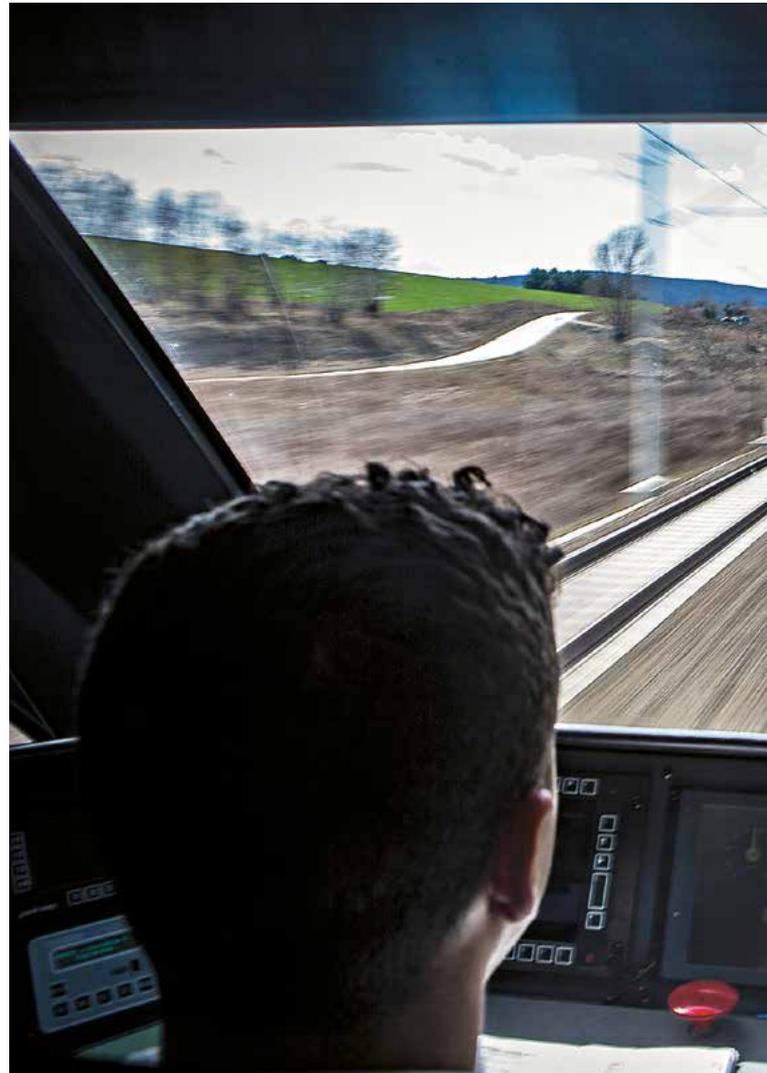
# Bahn frei nach Budapest

**Die Strecke Budapest–Esztergom ist die „No. 2“ der Bahnverbindungen Ungarns und die Haupttransportachse für den Ballungsraum Budapest. In den vergangenen zwei Jahren wurde sie modernisiert, ausgebaut und auf einer Länge von 51 km elektrifiziert. Für die Fahrdrähte und Tragseile lieferte PFISTERER sein patentiertes Federnachspannsystem TENSOREX C+, das sich besonders in den neu gestalteten Bahnhöfen und in Ungarns längstem Tunnel bewährt. Verantwortlicher Investor ist die nationale ungarische Infrastrukturentwicklungsgesellschaft Nemzeti Infrastruktúra Fejlesztő Zrt. (NIF Zrt.).**

Seit April verkehren die neuen Regionalzüge des Typs FLIRT selbstständig auf der elektrifizierten Verbindung zwischen Budapest und Esztergom. Der Ausbau und die Modernisierung der Strecke ist ein wichtiges Bahnprojekt für Ungarns Bahngesellschaft MAV Zrt. und ein zentrales Infrastrukturprojekt des ungarischen Ministeriums für Entwicklung, unterstützt durch Fördermittel der Europäischen Union. Dabei setzen alle Beteiligten auf die Integration moderner technischer Lösungen in das sich kontinuierlich weiterentwickelnde ungarische Eisenbahnnetz. Neben der Elektrifizierung der gesamten Strecke umfasst das Projekt den zweigleisigen Neubau des Linienabschnitts Rákosrendező–Újpest. Darüber hinaus wird der Bahnhof Esztergom neu gestaltet und die Station Újpest zum intermodalen Verkehrsknotenpunkt ausgebaut. „Die Achse Budapest–Esztergom ist eine wichtige Verkehrsader mit hohem Bahnaufkommen. Durch die Modernisierung und den Ausbau wird sie auch künftig ihrer Bedeutung gerecht“, berichtet István Kovács, Sales Manager von PFISTERER. Gemeinsam mit seinem Team unterstützte er die Planungen für den Bau der Fahrdrähte und Tragseile und schulte auch die Monteure vor Ort. „Da die Montage von TENSOREX unkompliziert und ohne besondere Werkzeuge erfolgt, verlief die Installation ohne Probleme. Das ist ein großer Vorteil des Systems.“

## **Passt, auch wenn es eng wird**

Für die verantwortliche Planungsgesellschaft NIF Zrt. bietet das patentierte federbasierte Fahrdraht-Spannsystem TENSOREX C+ von PFISTERER gleich mehrere Vorzüge: Einerseits erzeugt es eine konstante Zugkraft auf die Fahrleitung, sodass Längenänderungen durch Temperaturschwankungen im Tag-Nacht- bzw. Jahreszeitenwechsel optimal ausgeglichen werden und der Fahrdraht immer in gleichbleibender Höhe verbleibt. Andererseits eignet es sich dank seiner kompakten Bauweise besonders zum Einbau in beengten Bauräumen wie auf Bahnhöfen, Brücken oder in Tunneln. „TENSOREX C+ wird anbaufertig geliefert und kann sowohl an allen vorhandenen Mast-



formen als auch direkt an Tunnelwände- oder Decken montiert werden“, erklärt Projektleiterin Ilona Kovácsné Marczis von NIF Zrt. Auf der Bahnstrecke befindet sich unter anderem der „Kopár-hágó“, der mit 780 m längste Tunnel Ungarns. „Außerdem konnten wir TENSOREX auch an einigen schwer zugänglichen Stellen einsetzen, an denen die Anlieferung schwerer Betongewichte nicht möglich gewesen wäre.“

### Höhere Sicherheit für Fahrgäste und Betreiber

Für die Passagiere bringt das System an den neuen Bahnhöfen ein zusätzliches Plus an Sicherheit: Dank der Kombination einer Spiralfeder mit einer Exzentrerscheibe entfallen die üblichen Beton- oder Stahlgewichte komplett und alle beweglichen Teile sind unzugänglich verbaut, sodass bei einem Seilriss Menschen nicht durch herabfallende Gewichte oder Teile gefährdet sind. „Der künftige Betreiber MAV profitiert zudem bei einem Betriebschaden



Das kompakte Federnachspannsystem TENSOREX C+ ist die moderne Alternative zu herkömmlichen Radspannsystemen.



Die Strecke Budapest–Esztergom ist die „No. 2“ der Bahnverbindungen Ungarns und die Haupttransportachse für den Ballungsraum Budapest. Auf einer Länge von 51 km wurden 18 TENSOREX C+ installiert.

## Die Vorteile auf einen Blick

- Kompakter und leichter als Radspannsysteme
- Hohe Ansprechgenauigkeit
- Hohe Sicherheit
- Einfache Installation – geringer Montageaufwand
- Praktisch wartungsfrei
- Geringe Anfälligkeit gegen Vandalismus

an der Fahrleitung oder bei notwendigen Reparaturen von kürzeren Ausfallzeiten auf der vielbefahrenen Strecke, da das Federnachspannsystem wartungsfrei ist und auch nach einem Seilriss vollständig weiter verwendet werden kann“, betont Ilona Kovácsné Marczis. Insgesamt wurden 18 TENSOREX C+ Spannsysteme sowie 2.500 Verbindungsklemmen von PFISTERER geliefert. Der Fahrbetrieb ist bereits in vollem Gange und bis zum Herbst werden auch die beiden Bahnhöfe fertiggestellt.



**ALLE KABEL LIEBEN PFISTERER.** Denn als unabhängiger Garnituren-Spezialist haben wir alles, was Kabel brauchen. Anschlussysteme, Endverschlüsse und Muffen von PFISTERER machen aus jedem XLPE-Kabel – egal welcher Kabelhersteller, egal welcher Kabeldurchmesser – spannungsfeste Verbindungen bis 550 kV.